

SKRIPSI

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ELECTRONIC POWER FACTOR CONTROLLER



Disusun Oleh :

MUSTAFA KAMAL
NIM 0212029

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

SEPTEMBER 2007

CONFIDENTIAL

NATIONAL DEFENSES INTELLIGENCE SERVICE
 EXECUTIVE DEFENSES INTELLIGENCE
 PERSONNELS DEFENSES INTELLIGENCE
 PERSONNEL DEFENSES INTELLIGENCE

1975 FEB 23 10 53
 1975 FEB 23 10 53
 1975 FEB 23 10 53

EVIDENCE COLLECTION

DETERMINING THE LONGEST RITCHIE'S LANE

2025092

LEMBAR PERSETUJUAN

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ELECTRONIC POWER FACTOR CONTROLLER

SKRIPSI

*Disusun Dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Mencapai Gelar
Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :
MUSTAFA KAMAL
NIM : 02.12.029

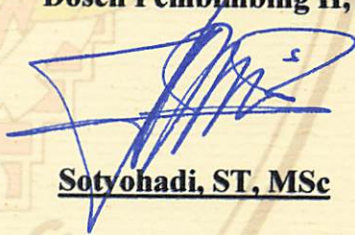
Diperiksa dan disetujui,

Disetujui,
Dosen Pembimbing I,



Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT
NIP. Y. 102 870 0171

Disetujui,
Dosen Pembimbing II,



Sotyahadi, ST, MSc



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 103 950 0274

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2007**

ABSTRAK

Perencanaan dan Pembuatan *Electronic Power Factor Controller*

Mustafa kamal 0212029, Fakultas Teknik Industri, Jurusan Energi Listrik, Institut Teknologi Nasional Malang, Dosen Pembimbing I : Ir. Widodo Pujdi M.,MT, Dosen Pembimbing II : Sotyohadi,ST,MSc

Kata kunci : Faktor Daya, Kapasitor, Motor, Lampu.

Solusi dari rendahnya faktor daya dilakukan dengan pemasangan kapasitor, banyak alat yang ada dipasar yang menawarkan perbaikan faktor daya, tetapi harganya yang relatif mahal, mahalnya harga alat tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap konsumen listrik dimana jika menginginkan faktor daya yang baik mereka harus mengeluarkan uang yang tentunya tidak sedikit, oleh karena itu *electronic power factor controller* yang disajikan dalam penelitian ini dapat memperbaiki faktor daya dan disertai dengan harga yang relatif murah dan cara membuatnya pun mudah.

Dari studi literatur didapat bahwa faktor daya merupakan beda fasa antara tegangan dan arus maka pada tahap Perencanaan alat didasarkan pada beda fasa antara tegangan dan arus yang selanjutnya beda fasa ini diproses oleh mikrokontroller untuk menentukan banyaknya kapasitor yang akan dihubungkan ke jala-jala pada tahap pembuatan alat penyadapan tegangan dilakukan oleh trafo tegangan sedangkan pada penyadapan arus dilakukan dengan menggunakan trafo arus. Kedua sinyal ini diproses oleh rangkaian pengubah sinus kepersegi agar dimegerti oleh mikrokontroller AT89S51.

Dari data pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum menggunakan *electronic power factor controller* faktor dayanya 0,4226 dan setelah dipasang faktor dayanya menjadi 0,96959 dan selisih sebelum dan sesudah 0,54699. Data pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang faktor dayanya 0,5736 dan setelah dipasang faktor dayanya menjadi 0,9925 dan selisih sebelum dan sesudah 0,4189. Data pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang, faktor dayanya 0,4539 setelah dipasang faktor dayanya menjadi 0,9063 dan selisih sebelum dan sesudah 0,4524. Data pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang, faktor dayanya 0,5736 dan setelah dipasang faktor dayanya menjadi 0,9998 dan selisih sebelum dan sesudah 0,4262.

KATA PENGANTAR

Dengan rahmat tuhan Yang Maha Esa, dan mengucapkan syukur kehadiratnya atas karunia yang dilimpahkan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perencanaan dan Pembuatan *Electronic Power Factor Controller*”.

Skripsi ini untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang sekaligus mengakhiri pendidikan pada jenjang S-1 pada Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Energi Listrik.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu saran dan kritik membangun sangat saya harapkan.

Atas segala bimbingan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusun skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof.Dr.Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan ITN Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku ketua jurusan teknik elektro ITN Malang.
4. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku seketaris jurusan ITN Malang.
5. Bapak Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT selaku dosen pembimbing I terimakasih banyak atas bimbingan, nasihat dukungan serta saran-sarannya.dari skripsi yang saya tulis.
6. Bapak Sotyohadi, ST selaku dosen pembimbing II terimakasih atas bimbingan, nasihat dukungan serta saran-sarannya.

7. Kedua orang tuaku (Bapak dan Encik) yang bersusah payah mencari dana agar kami bisa kuliah dan seluruh keluarga besarku yang telah membesarkan, mendidik dan selalu mendoakanku serta tak lupa pula kedua ponakanku Intan dan Afi.
8. Bapak rahmadi terimakasih atas bantuan serta masukanya dan keluarga besar Laboraturium Kendali Industri arif (Uke) atas masukanya, deden yang minta namanya ditulis terimakasih atas pinjaman project Boardnya Uden dan Paidhi (mayak) minta namanya ditulis terimakasih telah membatu saya dalam mempersiapkan alat saya serta Nova (cak kam) terimakasih serta crew yang lainnya yang tak mungkin saya sebutkan semuanya terimakasih banyak.
9. FADLI SHALAD, ST terimakasih telah meminjamkan laptop serta printernya semoga sukses cita-cita mu untuk menjadi orang nomor satu di Sumbawa.

Malang, 30 Agustus 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

ABTSRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi Pembahasan	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Daya Nyata ,Daya Aktif Dan Daya Reaktif	5
2.1.1. Daya Sesaat	5
2.1.2. Daya Aktif.....	6
2.1.3. Daya Reaktif.....	8
2.1.4. Pengertian Sumber Reaktif Dan Beban Reaktif.....	9
2.1.5. Daya Reaktif Dan Kapasitor	10
2.1.6. Perbedaan Antara Daya Reaktif Dan Daya Aktif	11
2.1.7. Penggabungan Daya Nyata , Beban Aktif Dan Beban Reaktif.....	11

2.1.8. Faktor Daya.....	12
2.1.9. Segitiga Daya	13
2.1.10. Pengaruh Pemsangan Kapasitor	14
2.2. Operasional Amplifier (OP AMP)	15
2.2.1. Dasar Dasar Penguat Oprasional Amplifier	15
2.2.2. Penguat Tak Membalik	17
2.2.3. Penguat Membalik	21
2.2.4. Penjumlah.....	23
2.2.5. Rangkaian Pengurang.....	24
2.2.6. Komparator	25
2.3. MIKROKONTROLLER.....	26
2.3.1. Arsitektur AT89S51	26
2.3.2. Stuktur Memori AT89S51	29
2.3.3. Memori Program	31
2.3.4. Memoti Data	32
2.3.5. Akumulator	35
2.3.6. Port.....	35

BAB III PERANCANGAN PERANGKAT KERAS DAN PERANGKAT LUNAK

3.1. Perancangan Perangkat Keras.....	36
3.1.1. Diagram Blok.....	37
3.1.2. Rangkaian sensor Tegangan, dan Pengubah sinus ke Persegi	38
3.1.3. Rangkaian sensor Arus, dan Pengubah sinus ke Persegi	41
3.1.4. Rangkaian Pensaklar Kapasitor.....	46

3.1.5. Kapasitor Bank.....	47
3.1.6. Mikrokontroller.....	49
3.2. Perancangan Perangkat Lunak	
3.2.1. Flowcat Algoritma Pemograman	51

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1. Pengujian Rangkaian sensor Tegangan, dan Pengubah sinus ke Persegi	52
4.2. Pengujian Rangkaian sensor Arus, dan Pengubah sinus ke Persegi	53
4.3. Pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1 KW	59
4.4. Pengujian Dengan Beban Kapasitor Dan Motor Yang Di Parallel	64
4.5. Pengujian dengan beban kapasitor yang seri dengan lampu dan parallel dengan motor.....	67
4.6. Pengujian dengan beban kapasitor yang seri dengan kapasitor dan parallel denagan motor	73
4.7. Pengujian dengan beban kapasitor yang seri dengan kapasitor, lampu dan parallel dengan lampu	78

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	95
5.2. saran	95

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

2.1. Sifat Ideal Dan Data Yang Sebenarnya Dari Opamp IC 741.....	16
2.2. Kinerja Rangkaian Pengikut Dan Rangkaian Pengikut Emiter.....	20
2.3. Struktur Memori AT89S51	27
2.4. Byte Special Function Register.....	32
3.1 Daya Reaktif yang diberikan oleh Kapasitor yang terhubung	49
4.1. Data Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan, Dan Pengubah Sinus Ke Persegi	52
4.2. Data Pengujian Rangkaian Sensor Arus, Dan Pengubah Sinus Ke Persegi.....	58
4.3. Data Pengujian Dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW	64
4.4. Data Pengujian Dengan Beban Capasitor 25 μ f Dan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW.....	67
4.5. Data Pengujian Dengan Beban Kapasitor 25 μ f Yang Seri Dengan Lampu 100W dan Parallel Dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW	72
4.6. Data Pengujian Dengan Beban Kapasitor 25 μ f Yang Seri Dengan Kapasitor 25 μ f Dan Parallel Dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW	78
4.7. Data Pengujian Dengan Beban Kapasitor 25 μ f Yang Seri Dengan Kapasitor 25 μ f Lampu 100W Dan Parallel Dengan Motor Induksi 1fasa 1,1KW.....	84
4.8. Pengujian dengan Berbagai Beban	84

DAFTAR GAMBAR

2.1. Tegangan AC (E) menghasilkan arus AC (I) pada rangkaian ini	7
2.2. Pashor E dan I Sefasa.....	7
2.3. Sebuah Wattmeter Menunjukkan Bahwa EI Watt	7
2.4. Daya Aktif Yang Tersusun Dari Sederetan Pulsa Positif.....	7
2.5. Tegangan AC E menghasilkan arus I pada rangkaian induktif.....	9
2.6. Pashor I tertinggal 90° dari tegangan.....	9
2.7. Daya reaktif terdiri dari pulsa positif dan pulsa negatif.....	9
2.8. Kapasitor dihubungkan kesumber AC	10
2.9. Pashor I_c mendahului tegangan sebesar 90°	11
2.10. Daya reaktif mengalir adri kapasitor ke generator.....	11
2.11. Segitiga daya	14
2.12. Rangkaian Dasar Penguat Operasional	15
2.13. Rangkaian Penguat Operasional Tak Membalik.....	17
2.14. Rangkaian Khusus Penguat Operasional Tak Membalik.....	19
2.15. Penguat Tak-Membalik Dengan Masukan Nol.....	20
2.16. Penguat Operasional Membalik	22
2.17. Rangkaian Penguat Operasional Sebagai Penjumlah.....	24
2.18. Penguat Operasional Sebagai Rangkaian Pengurang.....	25
2.19. Aplikasi Nonlinier Opamp	25
2.20. Arsitektur Peramgkat Keras	26
2.21. Alamat RAM Internal dan Flash PEROM	30
2.22. Pemindahan data 00110000b dari Alamat 35H	33

2.23. Port	35
3.1. Diagram blok keseluruhan system	37
3.2. Rangkaian sensor tegangan, dan pengubah sinus ke persegi.	38
3.3. Rangkaian sensor arus, dan pengubah sinus ke persegi.	41
3.4. Optocoupler 4N25	43
3.5. Rangkaian pensaklar kapasitor	46
3.6. Rangkaian kapasitor bank.	47
3.7. Rangkaian mikrokontroller beserta masukan dan keluarannya.	49
4.1. rangkaian sensor tegangan dan pengubah sinus ke persegi	52
4.2. rangkaian sensor arus dan pengubah sinus ke persegi.	53
4.3. Va_1 (tegangan keluaran CT).	54
4.4. Va_2 (tegangan keluaran dari pembagi tegangan).	54
4.5. Va_3 (tegangan keluaran dari filter 1).	55
4.6. Va_4 (tegangan keluaran dari filter 2).	56
4.7. Va_5 (tegangan keluaran dari filter 3).	56
4.8. Va_6 (tegangan keluaran dari op amp 1).	57
4.9. Va_7 (tegangan keluaran dari op amp 2).	57
4.10. Rangkaian pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1 KW sebelum setelah dipasang electronic power factor controller.	59
4.11. Penunjukan cos ϕ meter, dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum setelah dipasang electronic power factor controller	59
4.12. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum setelah dipasang electronic power factor controller.	60
4.13. Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan mikrokontroller, dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum setelah dipasang electronic power factor controller.	60

4.14. Rangkaian pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	62
4.15. Penunjukan cos ϕ meter, dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki.....	62
4.16. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki.....	62
4.17. Penunjukan Vin dan Iin sebagai inputan microkontroller, dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki.....	63
4.18. LED yang menyala menunjukkan relay yang OFF dari beban motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki.....	63
4.19. Rangkaian pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW yang parallel dengan kapasitor 25 μ F sebelum diperbaiki	65
4.20. Rangkaian pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW yang parallel dengan kapasitor 25 μ F yang dipasang electronic power factor controller	65
4.21. Penunjukan cos ϕ meter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller	65
4.22. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	66
4.23. Penunjukan Vin dan Iin sebagai inputan microkontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller	66
4.24. Rangkaian pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	68

4.25.	Penunjukan cos ϕ meter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	68
4.26	Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	68
4.27.	Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan mikrokontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	69
4.28.	Rangkaian pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	70
4.29.	Penunjukan cos ϕ meter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	70
4.30.	Voltmeter dan Ampermeter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	71
4.31.	Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan mikrokontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller	71
4.32.	LED paling atas yang menyala mengidenifikasikan relay yang OFF.....	71
4.33.	Rangkaian pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller	73
4.34.	Penunjukan cos ϕ meter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1	

fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller	73
4.35. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	74
4.36. Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan microkontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	74
4.37. Rangkaian pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller	75
4.38. Penunjukan cos ϕ meter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller	76
4.39. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	76
4.40. Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan microkontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller	77
4.41. LED paling atas yang menyala mengidenifikasikan relay yang OFF	77
4.42. Rangkaian pengujian dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	79

4.43. Penunjukan cosometer, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	79
4.44. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller.....	79
4.45. Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan mikrokontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller	80
4.46. Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan mikrokontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum dipasang electronic power factor controller	81
4.47. Penunjukan cosometer, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	81
4.48. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller	82
4.49. Tampilan Vin dan Iin sebagai inputan mikrokontroller, dengan beban kapasitor 25 μ F yang seri dengan kapasitor 25 μ F, lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah dipasang electronic power factor controller.....	82
4.50. LED paling atas yang menyala terang menunjukkan relay yang OFF.....	83

DAFTAR GRAFIK

4.1. Faktor Daya Antara Sesudah dan Sebelum diperbaiki.....	85
--	-----------

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karena konsumsi energi sering berubah-ubah sesuai keperluan masing-masing pengguna sehingga diperlukan energi listrik yang sangat baik. Dengan pola konsumsi energi listrik yang seperti ini maka akan menarik daya reaktif yang berubah-ubah pula. Dengan meningkatnya daya reaktif maka akan memperbesar rugi-rugi daya disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan, Hal ini dikarenakan faktor daya yang rendah.

Solusi dari rendahnya faktor daya dilakukan dengan pemasangan kapasitor, banyak alat yang ada dipasar yang menawarkan perbaikan faktor daya, tetapi harganya yang relatif mahal, mahalnya harga alat tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap konsumen listrik dimana jika menginginkan faktor daya yang baik mereka harus mengeluarkan uang yang yang tentunya tidak sedikit, oleh karena itu *electronic power factor controller* yang disajikan dalam penelitian ini dapat memperbaiki faktor daya dan disertai dengan harga yang relatif murah dan cara membuatnya pun mudah.

Alternatif yang sering dipakai untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang sumber daya reaktif tambahan yaitu pemasangan motor sinkron atau kapasitor bank yang parallel dengan beban. Metode alternatif yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah pemasangan kapasitor bank yang parallel dengan beban dan dapat disesuaikan nilai kapasitansinya sesuai dengan kebutuhan beban .

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem sedangkan impedansi masukan dari Om Amp tidak diketahui secara pasti,
2. Bagaimana pengaruh pemasangan *Electronic Power Factor Controller* pada arus jala-jala,
3. Bagaimana menghilangkan harmonisa agar sistem dapat bekerja.

1.3. Tujuan pembahasan

Adapun tujuan skripsi ini adalah merencanakan, membuat serta mengaplikasikan *Electronic Power Factor Controller* pada beban.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah yang akan dibahas, maka diberikan batasan batasan sebagai berikut:

1. Tidak membahas harmonisa yang ditimbulkan oleh alat ini,
2. Tidak membahas daya yang diserap oleh alat ini,
3. Tidak membahas pengaruh harmonisa terhadap alat ini,
4. Alat ini dirancang untuk sistem 1 fhasa.

1.5. Metode Pembahasan

Metode yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini adalah :

1. Studi literatur, yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan,
2. Media Internet sebagai referensi pembandingan,
3. Tahap perancangan,
Menyusun dan merancang perangkat keras dari sistem,
4. Tahap Pembuatan,
Membuat perangkat keras dan perangkat lunak sesuai perencanaan dan menggabungkan fungsi fungsi rangkaian sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh,
5. Tahap Pengujian,
Melakukan pengujian kerja system membandingkannya terhadap rancangan bila perlu melakukan perbaikan,
6. Tahap Pengambilan Data dan Analisa,
Melakukan pengambilan data di laboratorium Sistem Kendali Industri untuk dianalisa.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan dalam skripsi ini akan diuraikan dalam lima bab, yang penjabarannya adalah sebagai berikut :

Bab I : PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika pembahasan yang akan dipaparkan dalam laporan Skripsi ini,

Bab II : LANDASAN TEORI

Membahas tentang berbagai macam teori yang mendukung electronic power factor controller, komponen-komponen elektronika yang digunakan serta konsep perbaikan faktor daya,

Bab III : PERANCANGAN PERANGKAT KERAS DAN PERANGKAT LUNAK

Pada bab ini berisi tentang uraian dan penjelasan tentang bagaimana tahap-tahap perencanaan dan proses pembuatan perangkat keras, perangkat lunak dan cara kerja sistem,

Bab IV : PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini diuraikan mengenai kinerja dari masing-masing diagram blok rangkaian. Dan juga dianalisa apakah alat sudah sesuai dengan yang diharapkan atau masih terdapat kekurangan-kekurangan,

Bab V : PENUTUP

Merupakan bagian akhir dari laporan yang terdiri dari kesimpulan dan saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Daya Nyata Daya Aktif Dan Reaktif

Konsep daya nyata, daya aktif dan reaktif memegang peranan yang sangat penting dalam teknologi daya listrik. Pada Instalasi dan perilaku mesin-mesin listrik AC lebih mudah dimengerti dan dikerjakan dengan daya, dari pada diselesaikan dengan tegangan dan arus .

Daya nyata, daya aktif dan reaktif untuk rangkaian AC keadaan tunak yang mana tegangan dan arus adalah sinusoida. Mereka tidak dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku peralihan ataupun tidak dapat kita terapkan pada rangkaian DC.

Pembahasan kita mulai dengan analisa daya sesaat dalam rangkaian AC, kemudian kita mendefinisikan maksud dari daya aktif dan reaktif dan bagaimana mendefinisikan sumber dan beban, juga diikuti oleh definisi dari daya semu, faktor daya dan segitiga daya. Kita kemudian menunjukkan bagaimana rangkaian AC dipecahkan menggunakan konsep daya, dan disederhanakan oleh tanda vektor yang digunakan untuk menentukan daya aktif dan daya reaktif dalam rangkaian AC.

2.1.1. Daya Sesaat

Daya sesaat mensupply peralatan dan menghasilkan tegangan sesaat pada terminal-terminalnya dikali dengan harga sesaat yang mengalir melaluinya. Daya nyata selalu dinyatakan dalam Watt tidak memperdulikan macam rangkaian yang digunakan daya nyata mungkin bersifat positif atau negatif. Nilai positif berarti daya mengalir kedalam peralatan sebaliknya harga negatif menunjukkan daya mengalir keluar dari rangkaian. Frekuensi daya yang mengalir selalu dua kali dari frekuensi saluran.

2.1.2. Daya Aktif

Rangkaian AC yang sederhana pada gambar 2.1 terdiri dari resistor yang dihubungkan pada sebuah generator. Tegangan dan arus efektif berturut-turut ditandai oleh E dan I , dan kita akan menyelidiki rangkaian resistif ini, pashor E dan I adalah sefasa (gambar 2.2). Jika kita menghubungkan Wattmeter (gambar 2.3) ke rangkaian tersebut maka ia akan memberikan pembacaan $P = EI$ (gambar 2.3).

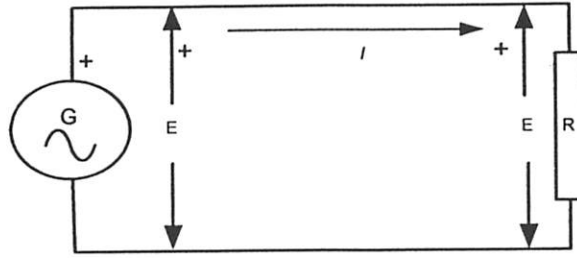
Untuk memperoleh gambaran yang lebih baik dari rangkaian yang ada sebaiknya kita menggambar kurva sinusoida E dan I (gambar 2.4) harga puncaknya secara berturut-turut $\sqrt{2}E$ volt dan $\sqrt{2}I$ amper seperti yang dinyatakan sebelumnya. Dengan mengalikan harga sesaat dari tegangan dan arus kita akan mendapatkan harga sesaat dalam Watt.

Gelombang daya terdiri dari sederetan pulsa positif yang berubah dari nol ke harga maksimum $(\sqrt{2}E) \times (\sqrt{2}I) = 2EI = 2P$ Watt. Kenyataan daya selalu positif dan selalu mengalir dari generator ke resistor. Ini merupakan salah satu karakteristik dasar dari apa yang disebut daya reaktif walaupun menghasilkan pulsa antara nol dan maksimum tidak pernah berubah arah daya mengalir seperti yang ditunjukkan oleh panah P (gambar 2.3).

Daya rata-rata adalah tengah-tengah antara $2P$ dan nol dan oleh karena itu nilainya adalah $P = 2E/2 = EI$ Watt. Ini merupakan daya yang sesungguhnya yang ditunjukkan oleh Wattmeter.

Dua penghantar pada resistor gambar 2.1 membawa daya aktif bagaimanapun juga tidak seperti arus yang mengalir, daya tidak pernah mengalir pada penghantar yang satu dan kembali pada penghantar yang lain. Daya mengalir pada kedua penghantar oleh karena itu sepanjang daya dihubungkan kita dapat mengganti penghantar dengan satu saluran (gambar 2.3).

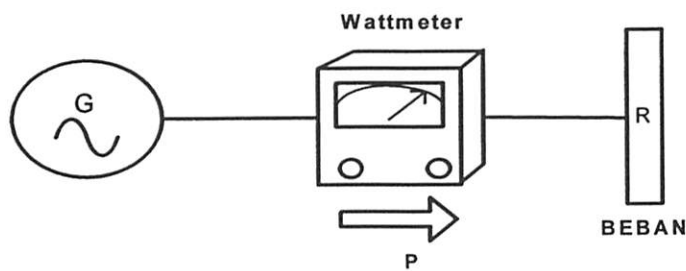
Secara umum instalasi menggambarkan saluran yang dihubungkan pada dua penghantar dengan mengabaikan jumlah penghantar yang mungkin dipunyainya.



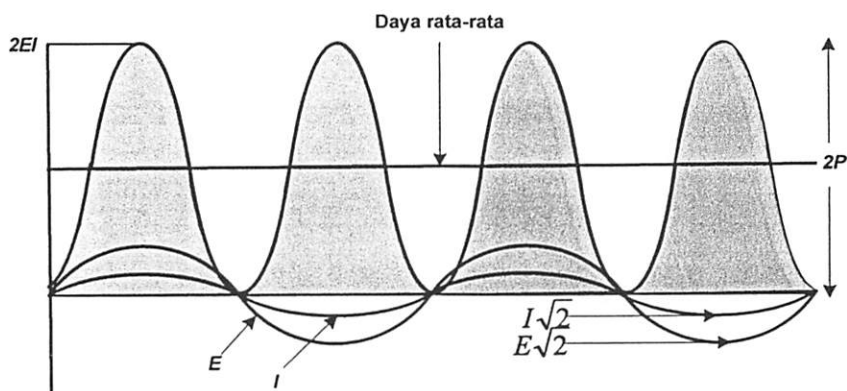
Gambar 2.1. Tegangan AC (E) Menghasilkan Arus AC (I) pada Rangkaian ini¹



Gambar 2.2. Pashor E dan I Sefasa¹



Gambar 2.3. Sebuah Wattmeter Menunjukkan Bahwa EI Watt¹



Gambar 2.4. Daya Aktif yang Tersusun dari Sederetan Pulsa Positif¹

2.1.3. Daya Reaktif

Rangkaian pada gambar 2.5 serupa dengan rangkaian resistif (gambar 2.1) kecuali sekarang resistor diganti dengan reaktor X_L hasilnya arus I tertinggal 90° dari tegangan E (gambar 2.6).

Untuk melihat apa yang benar-benar terjadi dalam rangkaian, kita harus menggambar bentuk gelombang E dan I dengan mengalikan harga sesaatnya, kita memperoleh kurva daya sesaat (gambar 2.5). Daya P terdiri dari sederetan pulsa positif dan negatif yang serupa, gelombang positif sesuai dengan daya sesaat yang diberikan oleh generator ke reaktor dan pulsa negatif menggambarkan daya sesaat yang diberikan oleh reaktor ke generator. Lama dari masing-masing gelombang seperempat siklus dari frekuensi gelombang daya, oleh sebab itu dua kali frekuensi jala-jala.

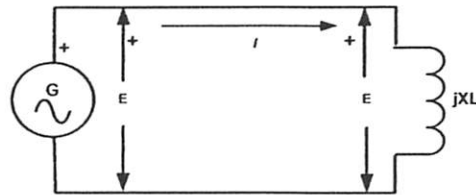
Daya yang gelombangnya maju dan mundur adalah suatu cara yang disebut daya reaktif (simbol Q), untuk membedakannya dari daya aktif yang telah disebut diatas pada gambar 2.2 juga diberikan oleh hasil kali EI . Bagaimanapun juga untuk membedakan daya ini dari daya aktif, satuan yang lainnya digunakan adalah VAR. kelipatannya adalah (KVAR) dan (MVAR).

Alat khusus yang disebut *varmeter*, yang mampu mengukur daya reaktif dalam rangkaian. Pembacaan varmeter hasil kali dari tegangan efektif E dengan arus saluran I dikali dengan $\sin \theta$ (dimana θ adalah beda fasa antara E dan I). Pembacaan hanya bisa didapat kalau ada beda fasa antara E dan I ; jika benar benar tepat sefasa (atau tepat 180°) pembacaan Var adalah nol.

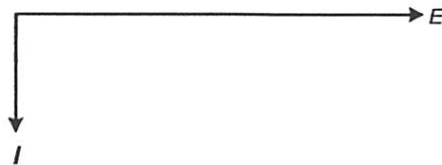
Kembali ke gambar 2.4 luasan yang penuh dengan titik-titik adalah energi, dalam joule pemindahan dari satu atau ke yang lainnya jelasnya energi diberikan dalam pulsa seri yang berkisinambungan yang sangat singkat. Setiap pulsa positif diikuti oleh pulsa negatif. Energi maju dan mundur antara generator dan induktor tanpa pernah digunakan.

Apa yang menjadi alasan gelombang pulsa positif dan negatif energi maju dan mundur, karena energi magnetik yang secara bergantian disimpan dan dilepaskan oleh reaktor, maka ketika daya positif medan magnet dibuat didalam kumparan, sebentar kemudian ketika daya negatif energi dari medan magnet mengalir kembali ke sumber.

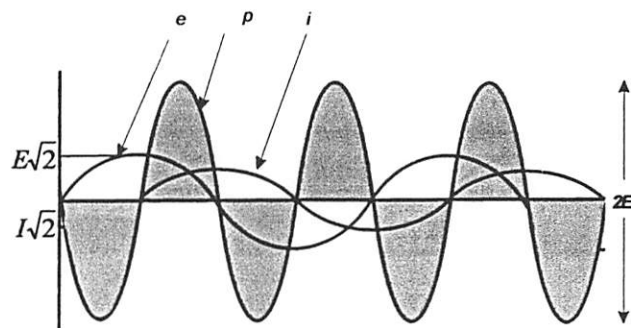
Kami telah menjelaskan dengan singkat pulsa daya negatif pada (gambar 2.1) mereka menggambarkan energi magnetik yang disimpan dalam kumparan motor yang kembali ke sumber.



Gambar 2.5 Tegangan AC E Menghasilkan Arus I pada Rangkaian Induktif¹



Gambar 2.6. Pashor I Tertinggal 90° dari Tegangan¹



Gambar 2.7. Daya Reaktif terdiri dari Pulsa Positif dan Pulsa Negatif¹

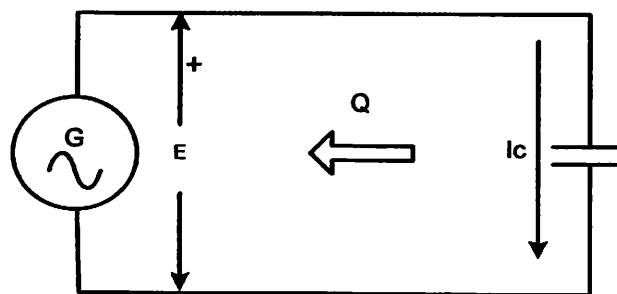
2.1.4. Pengertian Sumber Reaktif Dan Beban Reaktif

Daya reaktif meliputi daya nyata yang berisolasi maju dan mundur antara dua peralatan pada instalasi oleh karena itu mustahil untuk mengatakan apakah daya mula-mula dari penghantar yang satu dan kembali pada penghantar yang lain walaupun demikian sangat berguna untuk mengasumsikan bahwa peralatan yang satu menghasilkan daya reaktif sedangkan yanglainnya berperilaku sebagai beban

reaktif, dengan definisi itu reaktor berperilaku sebagai beban reaktif yang menyerap daya aktif.

2.1.5. Daya Reaktif dan Kapasitor

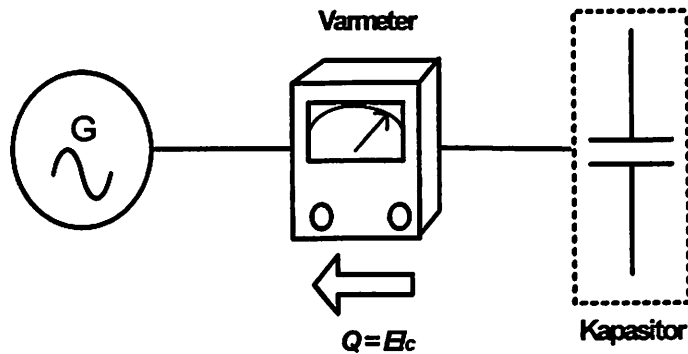
Pada gambar 2.8 kapasitor dihubungkan ke terminal generator ia menarik arus yang mendahului tegangan sebesar 90° (gambar 2.10) oleh karena itu kapasitor berperilaku seperti daya reaktif dan memberikan daya reaktifnya. Dari manakah daya ini berasal ? jawabannya bahwa kapasitor memberikan daya reaktif ke generator yang terhubung, banyak orang yang tidak mempercayainya kita mungkin bertanya dapatkah peralatan pasif seperti kapasitor memungkinkan menghasilkan daya ? jawabannya bahwa daya reaktif benar-benar menggambarkan energi, seperti sebuah pendulum yang berayun kedepan dan kebelakang tanpa pernah mengerjakan pekerjaan apapun. Kapasitor berperilaku sebagai peralatan yang menyimpan energi yang sementara, yang berulang menerima energi untuk waktu yang singkat dan melepaskannya kembali. Energi dalam kapasitor disimpan dalam bentuk elktrosatis. Jika kita menghubungkan varmeter ke dalam rangkaian (gambar 2.10) ini akan memberikan pembacaan negatif dari varmeter ini menunjukkan bahwa daya reaktif mengalir dari kapasitor ke generator. Generator sekarang berperilaku sebagai beban reaktif tetapi kadangkala kita menyebutnya sebagai penerima daya reaktif singkatnya reaktansi kapasitansi selalu membangkitkan daya reaktif .



Gambar 2.8. Kapasitor dihubungkan Kesumber AC¹



Gambar 2.9. Pashor I_c Mendahului Tegangan Sebesar 90° ¹



Gambar 2.10. Daya Reaktif Mengalir dari Kapasitor ke Generator ¹

2.1.6. Perbedaan Antara Daya Reaktif Dan Daya Aktif

Ada perbedaan yang mendasar antara daya reaktif dan daya aktif dan mungkin sangatlah penting untuk mengingat bahwa yang satu tidak dapat dikonversikan ke yang lainnya. Daya aktif dan reaktif mempunyai fungsi yang berdiri sendiri dari masing-masing yang lain mereka dapat dinyatakan sebagai besaran listrik yang berbeda.

Semua peralatan induktif AC seperti Maknit, trafo, ballas dan motor induksi menyerap daya aktif kerana komponen ini menarik arus yang tertinggal 90° dari tegangan. Daya reaktif memegang peranan yang sangat penting karena ia menghasilkan medan magnet dalam peralatan.

2.1.7. Penggabungan Daya Nyata , Beban Aktif Dan Beban Reaktif

Beban yang menyerap daya aktif P dan daya reaktif Q secara berturut-turut adalah resistansi dan reaktansi induktif, yang mana reaktor dan resistor dihubungkan ke sumber G . Resistor menarik arus I_p sedangkan reaktor menarik arus I_q sesuai dengan apa yang kita definisikan, resistor adalah beban aktif dan

reaktor adalah beban reaktif, oleh karena itu I_p sefasa dengan E sedangkan I_q tertinggal 90° . Diagram fasor menunjukkan bahwa garis resuntan I tertinggal dari E sebesar θ selanjutnya besaran I diperoleh dari rumus :

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (2.1)$$

Komponen daya aktif P dan daya reaktif Q keduanya mengalir dalam arah yang sama. Kita akan menghubungkan Wattmeter dan Varmeter pada rangkaian. Pembacaan keduanya positif, dan pernyataan secara berturut-turut $P = E \times I_p$ Watt dan $Q = E \times I_q$ VAR. Selanjutnya jika kita menghubungkan Ammeter pada instalasi akan menunjukkan arus I , sebagai akibatnya kita cenderung untuk mempercayai bahwa daya yang diberikan beban sebanding dengan $E I$ Watt, tetapi hal ini sungguh tidak benar karena daya terdiri dari daya aktif dan daya reaktif untuk alasan itu hasil kali $E I$ disebut daya semu dengan simbol S (VA).

2.1.8. Faktor Daya

Faktor daya pada peralatan AC merupakan rasio daya aktif P dengan daya nyata S , ini diberikan oleh persamaan :

$$\frac{P}{S} \quad (2.2)$$

Dimana

P : daya aktif yang diserap oleh komponen atau rangkaian (W)

S : daya nyata dari rangkaian atau komponen (VA)

Daya nyata dinyatakan dalam bilangan sederhana atau persen, karena daya aktif P tidak bisa melebihi daya nyata S maka daya aktif tidak bisa melebihi 100%. Faktor daya dari resistor adalah 100% karena daya nyata yang ditarik sebanding dengan daya aktif, dilain pihak faktor daya dari kumparan ideal mempunyai resistansi nol karena tidak menyerap daya aktif. Untuk menghitung faktor daya dari rangkaian dapat dilakukan dengan cara yang mudah sekali yaitu pembagian daya aktif dengan daya nyata

$$\begin{aligned}
 \text{faktor daya} &= \frac{P}{S} \\
 &= \frac{EI_p}{EI} \\
 &= \frac{I_p}{I} \\
 &= \cos \theta \\
 &= \frac{P}{S}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Faktor daya : factor daya dari rangkaian fasa tunggal
 θ : sudut fasa antara

Jika kita mengetahui factor daya ,secara otomatis mengetahui cosinus antara V dan I

2.1.9. Segitiga Daya

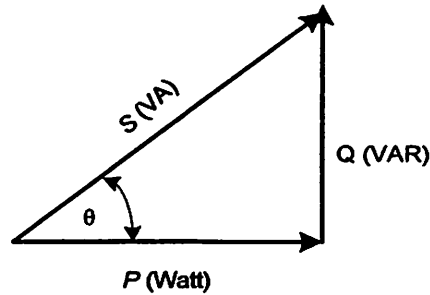
Daya semu, daya aktif dan daya nyata mempunyai keterkaitan menurut rumus :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \tag{2.4}$$

Yang membawa perhatian kita pada segitiga daya maka kita dapat menghubungkan antara S , P dan Q secara grafik yang disebut segitiga daya sesuai dengan hasil kesepakatan mengikuti aturan yang digunakan :

1. Daya aktif P diserap oleh rangkaian atau komponen dianggap positif dan digambarkan horizontal ke arah kanan
2. Daya aktif P yang diberikan ke rangkaian atau komponen dianggap negatif dan digambarkan horizontal ke arah kiri
3. Daya reaktif Q diserap oleh rangkaian atau komponen dianggap positif dan digambarkan horizontal ke arah atas

4. Daya reaktif Q yang diberikan ke rangkaian atau komponen dianggap negatif dan digambarkan vertikal ke arah bawah ke arah kiri



Gambar 2.11. Segitiga Daya

Segitiga daya sangatlah berguna untuk menyelesaikan rangkaian AC yang terdiri dari Daya aktif P Daya reaktif Q .

2.1.10. Pengaruh Pemasangan Kapasitor

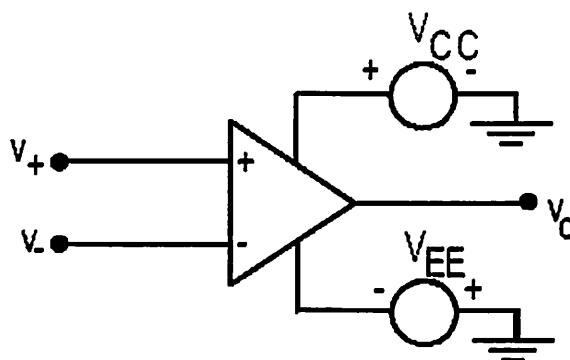
Salah satu peralatan perbaikan faktor daya adalah pemasangan kapasitor bank yang fungsi utamanya untuk memperbaiki faktor daya dalam instalasi tersebut yaitu dengan memberikan daya reaktif dimana kapasitor tersebut di pasang. Selain itu mamfaat ekonomis dari pemasangan kapasitor pada instalasi tersebut adalah :

1. Mengurangi rugi tegangan .
2. mengurangi rugi daya
3. Menambah kapasitas daya pada instalasi tersebut

2.2. PENGUAT OPERASIONAL

2.2.1. Dasar-dasar Penguat Operasional

Penguat operasional (opamp) adalah suatu blok penguat yang mempunyai dua masukan dan satu keluaran. Opamp biasa terdapat di pasaran berupa rangkaian terpadu (*integrated circuit- IC*).



Gambar 2.12. Rangkaian Dasar Penguat Operasional²

Gambar 1 menunjukkan sebuah blok opamp yang mempunyai berbagai tipe dalam bentuk IC. Dalam bentuk paket praktis IC seperti tipe 741 hanya berharga beberapa ribu rupiah. Seperti terlihat pada gambar 22.a, opamp memiliki masukan tak membalik v_+ (*non-inverting*), masukan membalik v_- (*inverting*) dan keluaran v_o . Jika isyarat masukan dihubungkan dengan masukan membalik (v_-), maka pada daerah frekuensi tengah isyarat keluaran akan “berlawanan fase” (berlawanan tanda dengan isyarat masukan). Sebaliknya jika isyarat masukan dihubungkan dengan masukan tak membalik (v_+), maka isyarat keluaran akan “sefase”. Sebuah opamp biasanya memerlukan catu daya ± 15 V. Dalam menggambarkan rangkaian hubungan catu daya ini biasanya dihilangkan. Data keadaan ideal opamp dan kinerja IC 741 seperti terlihat pada tabel 2.1.

Idealnya, jika kedua masukan besarnya sama, maka keluarannya akan berharga nol dan tidak tergantung adanya perubahan sumber daya, yaitu :

$$v_o = A(v_+ - v_-) \quad (2.5)$$

dimana A berharga sangat besar dan tidak tergantung besarnya beban luar yang terpasang.

Tabel 2.1. Sifat Ideal Dan Data Yang Sebenarnya Dari Opamp IC 741².

Parameter	D a t a	Harga Ideal
tegangan ofset masukan. V_{io}	2 mV	0
arus ofset masukan. I_{io}	20 nA	0
arus panjar masukan. I_B	80 nA	0
nisbah penolakan modus bersama (CMRR). ρ	90 dB	∞
pergeseran dari I_{io}	1 nA/°C	0
pergeseran dari V_{io}	25 μ V/°C	0
frekuensi penguatan-tunggal (<i>unity-gain frequency</i>)	1 MHz	∞
<i>bandwidth</i> daya-penuh	10 kHz	∞
penguatan diferensial lingkaran terbuka. A	105 dB	∞
hambatan keluaran lingkaran terbuka. R_o	75 Ω	0
hambatan keluaran lingkaran tertutup. R_i	2 M	∞

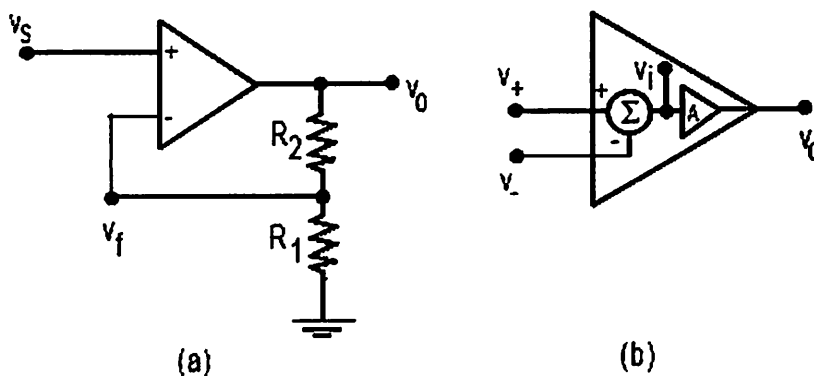
Keterangan :

- ▶ Tegangan ofset masukan (*input offset voltage*) V_{io} menyatakan seberapa jauh v_+ dan v_- terpisah untuk mendapatkan keluaran 0 volt.
- ▶ Arus offset masukan (*input offset current*) menyatakan kemungkinan seberapa berbeda kedua arus masukan.
- ▶ Arus panjar masukan (*input bias current*) memberi ukuran besarnya arus basis (masukan).
- ▶ Harga CMRR menjamin bahwa output hanya tergantung pada $(v_+) - (v_-)$, walaupun v_+ dan v_- masing-masing berharga cukup tinggi.

Untuk menghindari keluaran yang berosilasi, maka frekuensi harus dibatasi, *unity gain frequency* memberi gambaran dari data tanggapan frekuensi. Ini hanya berlaku untuk isyarat-kecil saja karena untuk isyarat yang besar penguat mempunyai keterbatasan nilai dv_o/dt sehingga keluaran bentuk-penuh hanya dihasilkan pada frekuensi yang relatif rendah.

2.2.2. Penguatan Tak-Membalik (*Non-Inverting Amplification*)

Opamp dapat dipasang sebagai penguat tak membalik seperti gambar 2.2b. Terlihat bahwa masukan diberikan pada v_+ .



Gambar 2.13. Rangkaian Penguat Operasional Tak Membalik².

Opamp tersebut berfungsi sebagai :

$$v_o = A (v_+ - v_-) \quad (2.6)$$

dan selanjutnya dapat dituuliskan untuk penjumlahan (Σ) dan penguat ujung tunggal (A) seperti pada gambar 2.2.b.

$$v_i = v_+ - v_-$$

$$v_o = A v_i \quad (2.7)$$

Dari pembagi tegangan didapatkan :

$$v_f = v_o \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$v_f = \beta v_o \quad (2.8)$$

Jadi terlihat bahwa gambar 2.2.b adalah salah satu contoh dari penguat balikan

$$\beta = R_1 / (R_1 + R_2) \quad (2.9)$$

Dengan demikian dapat dituliskan penguat lingkar tertutup sebagai ;

$$A_f = A / (1 + A\beta) \quad (2.10)$$

Karena A sangat besar maka :

$$\begin{aligned} A_f &\approx 1/\beta \\ &= (R_1 + R_2) / R_1 \\ &= 1 + (R_2/R_1) \end{aligned} \quad (2.11)$$

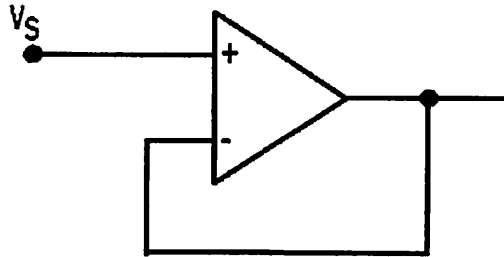
Didapat persamaan terakhir dengan cepat dengan menggunakan metode hubung singkat :

$$\begin{aligned} v_s &= v_f (\text{karena } A \text{ sangat besar}) \\ &= v_o \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Jadi :

$$v_o / v_s = 1 + (R_2 / R_1) \quad (2.13)$$

Maka didapatkan bentuk khusus penguat tak membalik secara sederhana seperti pada gambar 3.



Gambar 2.14. Rangkaian Khusus Penguat Operasional Tak Membalik²

Dengan metode Hubung Singkat diperoleh :

$$v_o \approx v_s$$

$$v_o/v_s = 1$$

(2.14)

Jadi penguat seperti terlihat pada gambar 2.2.c menghasilkan penguatan +

1. Rangkaian ini sangat menguntungkan karena kita dapat memperoleh suatu penguat dengan hambatan masukan yang sangat tinggi ($10^{10} - 10^{12} \Omega$), dengan hambatan keluaran sangat rendah ($10^{-3} - 10^{-1} \Omega$), yaitu mendekati kondisi ideal. Rangkaian ini disebut rangkaian pengikut (*follower*), suatu bentuk peningkatan dari penguat pengikut emitor. Jadi penguat ini berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) dengan penguatan = 1. Sebagai gambaran pada tabel 2.2 diperlihatkan kinerja rangkaian pengikut dan rangkaian pengikut emitor.

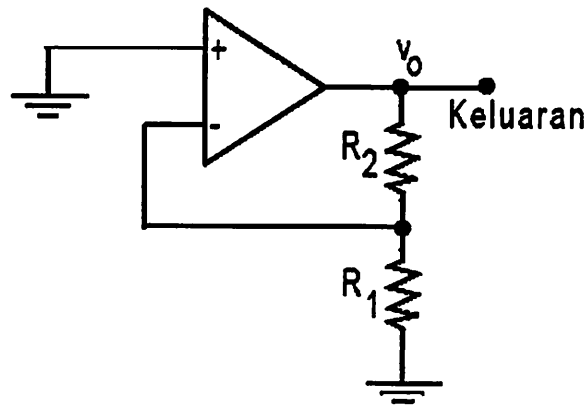
Tabel 2.2, Kinerja Rangkaian Pengikut Dan Rangkaian Pengikut Emitor²

	Rangkaian pengikut (<i>Follower</i>)	Rangkaian pengikut emitor (<i>Emitter follower</i>)
Penguatan	0.99999	0.995
Hambatan masukan	$> 10^7$	10^5
Hambatan keluaran	10^{-2}	5
Pergeseran DC	2	650
Frekuensi 3 dB	1	50

Dalam praktek untuk penguat operasional tak-membalik, besarnya frekuensi 3 dB BW penguatan lingkaran tertutup G diberikan oleh :

$$G \times BW = \text{frekuensi penguatan} - \text{tunggal}$$

Jadi jika menggunakan penguat dengan frekuensi penguatan tunggal 1 MHz, maka dapat diperoleh lebar tanggapan frekuensi sebesar 1 MHz..



Gambar 2.15. Penguat Tak-Membalik Dengan Masukan Nol²

Efek dari V_{io} (tegangan offset masukan) pada kondisi panjar penguat, tidak terlalu sulit untuk diperkirakan. Perhatikan penguat tak-membalik dengan masukan nol seperti diperlihatkan pada gambar 2.2.d. Agar diperoleh keluaran sebesar kira-kira 0 volt, kedua masukan harus berbeda sebesar V_{io} , yaitu :

$$v_- = V_{io} \tag{2.15}$$

Dari pembagi potensial dapat diperoleh :

$$V_{io} = v_o \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.16)$$

dan juga :

$$v_o = V_{io} \times \text{Penguatan} \quad (2.17)$$

Biasanya untuk amplifier dengan penguatan $100\times$ mungkin akan memiliki keluaran sebesar 200 mV untuk masukan nol volt. Jika arus masukan tidak dapat diabaikan (seperti diasumsikan di atas), analisis di atas harus dimodifikasi sebagai pembagi tegangan yang terbebani arus masukan I_B , dimana :

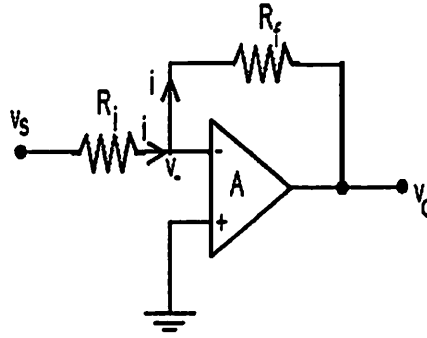
$$V_{io} = v_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_B \times \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.18)$$

Perlu juga dicoba untuk menghubungkan v_+ ke tanah tidak dengan hubung singkat melainkan dengan hambatan R_1 paralel dengan R_2 . Arus sebesar I_B juga mengalir lewat hambatan tersebut, efek dari suku kedua pada persamaan dapat dihilangkan. Dengan demikian akan diperoleh :

$$V_{io} = v_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_{io} \times \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2.19)$$

2.2.3. Penguat Membalik (*Inverting Amplifier*)

Pada penguat membalik sumber isyarat dihubungkan dengan masukan membalik sedangkan masukan positif ditanahkan seperti terlihat pada gambar 22.e.



Gambar 2.16. Penguat Operasional Membalik².

Pada gambar 22.e. terlihat bahwa sebagian dari keluaran diumpankan kembali ke masukan melalui R_f . Penguat ini termasuk penguat pembalik negatif. Penguatan dari rangkaian ini dapat ditentukan sebagai berikut. Dengan berasumsi bahwa arus i tidak melalui masukan, jadi arus i yang lewat R_i dan R_f .

Dengan mempunyai :

$$\begin{aligned} v_s - v_- &= i R_i \\ v_- - v_o &= i R_f \\ v_o &= -A v_- \end{aligned} \tag{2.20}$$

dari ketiga persamaan dapat diperoleh :

$$\begin{aligned} v_s + \frac{v_o}{A} &= i R_i \\ -\frac{v_o}{A} - v_o &= i R_f \end{aligned} \tag{2.21}$$

selanjutnya diperoleh :

$$\frac{v_o + (v_o / A)}{v_s + (v_o / A)} = -\frac{R_f}{R_i} \tag{2.22}$$

Nilai A sangat besar (sekitar 10^5) sehingga v_o/A berharga sangat kecil dibandingkan dengan v_o dan v_s , maka didapatkan penguatan lingkaran tertutup

$$v_o/v_s \approx -R_f/R_i \quad (2.23)$$

ternyata secara sederhana hanya merupakan perbandingan kedua hambatan yang dipasang. Karena masukan positif ditanahkan, maka terminal masukan negatif juga ditanahkan maya (walaupun tidak terdapat penghubung langsung ke tanah).

Dengan mempunyai :

$$i \approx v_s/R_i \approx -v_o/R_f$$

dan juga :

$$v_o/v_s \approx -R_f/R_i \quad (2.24)$$

2.2.4. Penguat Penjumlah

Penamaan penguat operasional memang cocok karena penguat ini dapat digunakan untuk operasi matematika. Berikut ini menggunakan opamp sebagai penjumlah. memperlihatkan masukan tak membalik dari opamp dihubungkan dengan tanah. Dengan demikian masukan membalik terhubung sebagai *tanah maya* karena keduanya terhubung singkat maya.

Dengan mempunyai :

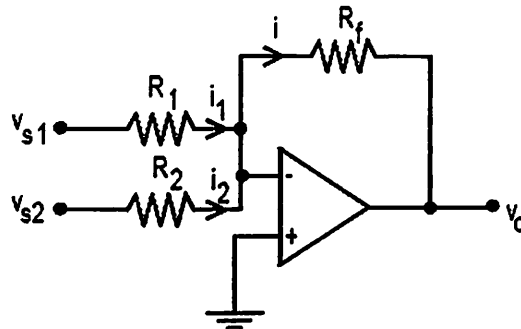
$$i_1 = v_s/R_1$$

$$i_2 = v_s/R_2$$

$$i = -v_o/R_f$$

karena $i = i_1 + i_2$, maka :

$$-v_0 = \frac{R_f}{R_1} v_{s1} + \frac{R_f}{R_2} v_{s2} \quad (2.25)$$



Gambar 2.17. Rangkaian Penguat Operasional Sebagai Penjumlah².

Jelas kiranya untuk n masukan berlaku :

$$-v_0 = \frac{R_f}{R_1} v_{s1} + \frac{R_f}{R_2} v_{s2} + \dots + \frac{R_f}{R_{n-1}} v_{s_{n-1}} + \frac{R_f}{R_n} v_{s_n} \quad (2.26)$$

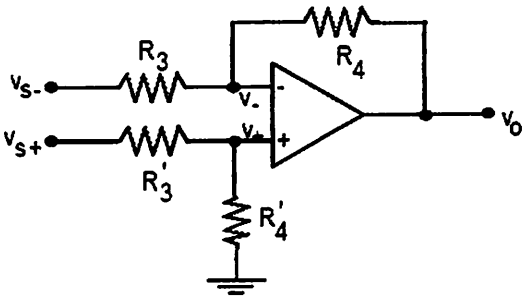
Jika dipasang $R_f = R_1 = R_2 = \dots = R_n$, maka :

$$-v_0 = v_{s1} + v_{s2} + v_{s3} + \dots + v_{s_{n-1}} + v_{s_n} \quad (2.27)$$

2.2.5. Rangkaian Pengurang

Operasi pengurangan dapat dilakukan dengan hanya memakai sebuah opamp seperti pada gambar 2.2.g. Terlihat bahwa V_{s+} dan V_{s-} membentuk pembagi tegangan.

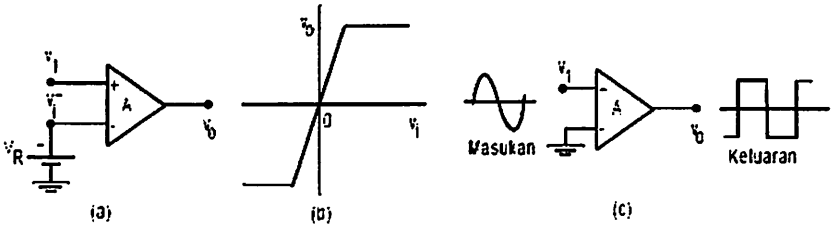
$$v_+ = v_{s+} \times \frac{R_2}{(R_2 + R_1)} \quad (2.28)$$



Gambar 2.18. Penguat Operasional Sebagai Rangkaian Pengurang².

2.2.6. Komparator (*Comparator*)

Pada gambar 22.h(a), jika tegangan masukan v_i lebih besar dari tegangan referensi V_R , tegangan keluaran v_o akan berharga positif. Karena harga penguatan sangat besar maka perbedaan tegangan yang relatif kecil akan membawa penguat pada “daerah jenuh”. Karakteristik transfer menunjukkan bahwa sedikit penurunan pada v_i (milivolt) akan membawa opamp dari jenuh positif ke jenuh negatif (lihat gambar 22.h(b)). Jika $V_R = 0$ volt, ini akan menjadi *zero-crossing comparator*. Komparator jenis ini dapat digunakan untuk mengubah isyarat AC menjadi gelombang kotak dengan operasi pemotongan (*clipper*) seperti terlihat pada gambar 22.h(c).

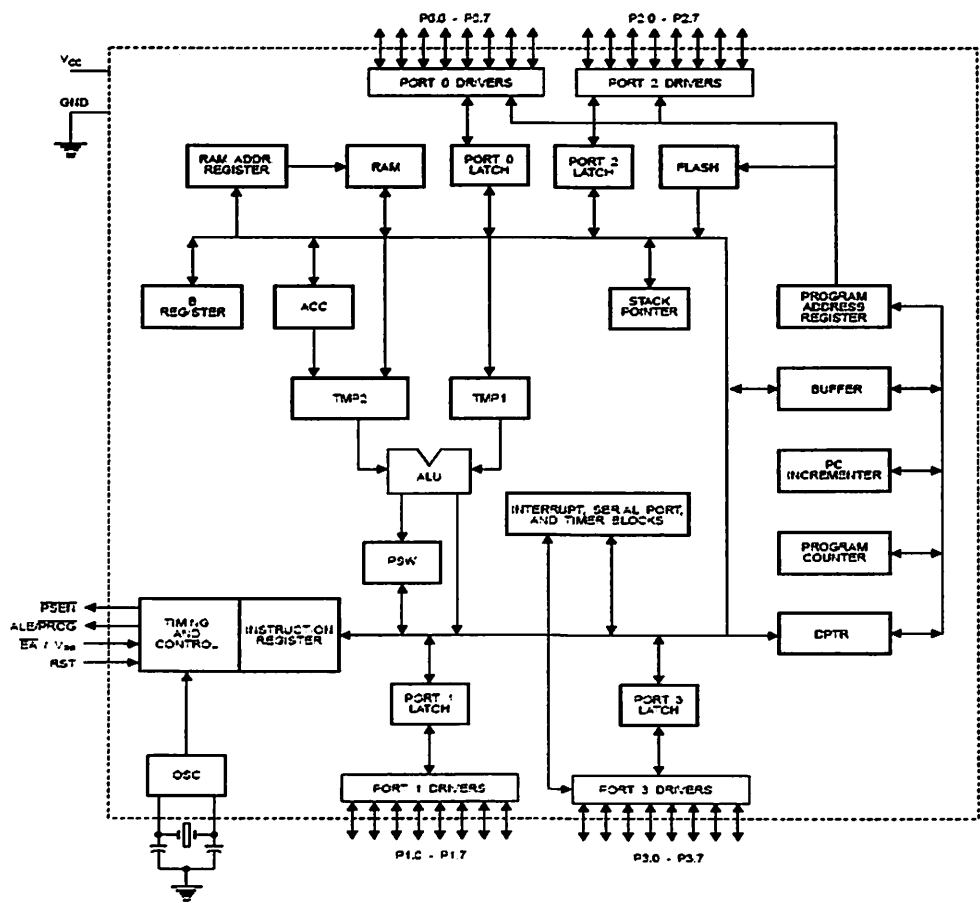


Gambar 2.19. Aplikasi Nonlinier Opamp :
a) Komparator b) Karakteristik Transfer Dan c) Operasi Pemotongan (*Clipper*²).

2.3. MIKROKONTROLER

2.3.1 Arsitektur AT89S51

AT89S51 adalah mikrokontroler keluaran atmel dengan 8K byte *flash PEROM* (*programmable and erasable read only memory*), AT89S51 merupakan memori dengan teknologi *non-volatile memory*, isi memori tersebut dapat di isi ulang ataupun di hapus berkali-kali. Memori ini biasa digunakan untuk menyimpan instruksi (perintah) berstandar MCS-51 kode sehingga memungkinkan mikrokontroler ini untuk bekerja dalam mode *single chip operation* (mode operasi keeping tunggal) yang tidak memerlukan *external memory* (memori luar) untuk menyimpan *sourcecode* tersebut.



Gambar 2.20. Arsitektur Perangkat Keras³

Tabel 2.3. Struktur Memori AT89S51³

Nomor Pin	Nama Pin	Alternative	Keterangan
20	GND		<i>Ground.</i>
40	VCC		<i>Power Supply.</i>
32 s/d 39	P0.7 s/d P0.0	D7 s/d D0 & A7 s/d A0	<p><i>Port 0</i> dapat berfungsi sebagai I/O biasa, <i>low order multiplex address/ data</i> ataupun menerima kode byte pada saat <i>flesh programming</i>.</p> <p>Pada fungsi sebagai I/O biasa port ini dapat memberikan <i>output sink</i> ke delapan buah TTL input atau dapat diubah sebagai input dengan memberikan logika 1 pada <i>port</i> tersebut.</p> <p>Pada fungsi sebagai <i>low order multiplex address/ data port</i> ini akan mempunyai <i>internal pull up</i>.</p> <p>Pada saat <i>flesh programming</i> diperlukan <i>external pull up</i> terutama pada saat verifikasi program.</p>
1 s/d 8	P1.0 s/d P1.7		<p><i>Port 1</i> berfungsi sebagai I/O biasa atau menerima <i>low order address bytes</i> selama pada saat <i>flesh programming</i>. <i>Port</i> ini mempunyai <i>internal pull up</i> dan berfungsi sebagai input dengan memberikan logika 1.</p> <p>Sebagai output <i>port</i> ini dapat memberikan <i>output sink</i> keempat buah input TTL.</p>

21 s/d 28	P2.0 s/d P2.7	A8 s/d A15	<p><i>Port 2 berfungsi sebagai I/O biasa atau high order address, pada saat mengakses memori secara 16 bit</i></p> <p><i>Pada saat mengakes memors secara 8 bit, port ini akan mengeluarkan isi dari P2 special function register</i></p> <p><i>Port ini mempunyai internal pull up dan berfungsi sebagai input dengan memberikan logika 1</i></p> <p><i>Sebagai output, port ini dapat memberikan output sink keempat buah input TTL.</i></p>
10 s/d 17	Port 3		<p><i>Sebagai I/O biasa port 3 mempunyai sifat yang sama dengan port 1 maupun port 2. sedangkan sebagai fungsi special port-port ini mempunyai keterangan sebagai berikut :</i></p>
10	P3.0	RXD	<i>Port serial input.</i>
11	P3.1	TXD	<i>Port serial output.</i>
12	P3.2	INT 0	<i>Port external interrupt 0.</i>
13	P3.3	INT 1	<i>Port external interrupt 1.</i>
14	P3.4	T 0	<i>Port external timer 0 input.</i>
15	P3.5	T 1	<i>Port external timer 1 input.</i>
16	P3.6	WR	<i>External data memory write strobe.</i>
17	P3.7	RD	<i>External data memory write strobe.</i>
9	RST		<i>Reset akan aktif dengan memberikan input high selama 2 cycle.</i>

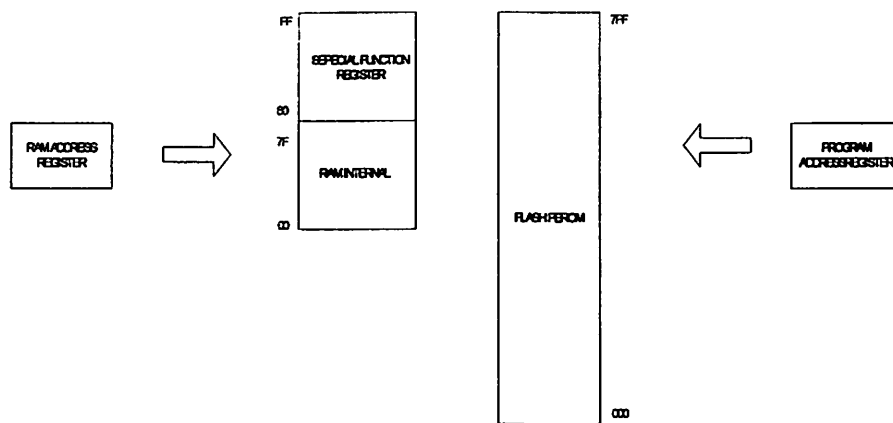
30	ALE	PROG	<p>Pin ini dapat berfungsi sebagai <i>address latch enable</i> (ALE) yang <i>men-latch low byte address</i> pada saat mengakses <i>memory external</i>.</p> <p>Sedangkan pada saat <i>flash programming</i> (PROG) berfungsi sebagai <i>fulse input</i> pada operasi normal ALE akan mengeluarkan sinyal <i>clock</i> sebesar 1/16 frekwensi <i>oscillator</i> kecuali pada saat mengakses <i>memory external</i> sinyak <i>clock</i> pada pin ini dapat pula di-“disable” dengan men-set bit 0 dari <i>special fungtion register</i> dialamat BEH . ALE hanya akan aktif pada saat mengakses <i>memory external</i></p>
29	PSEN		<p>Pin ini berfungsi pada saat mengeksekusi program yang terletak pada <i>memory external</i>. PSEN akan aktif 2 kali setiap <i>cycle</i></p>
31	EA	VP	<p>Pada kondisi <i>low</i>, pin ini akan berfungsi sebagai EA yaitu mikrokontroler akan menjalankan program yang ada pada <i>memory external</i> setelah sistem di-“reset”.</p> <p>Jika berkondisi <i>high</i>, pin ini akan berfungsi untuk menjalankan program yang ada pada <i>memory internal</i>,</p> <p>Pada saat <i>flash programming</i> pin ini akan mendapat tegangan 12 Volt (VP).</p>
19	XTAL1		<i>Input Oscillator</i>
18	XTAL2		<i>Output Oscillator</i>

2.3.2. Struktur Memory AT89S51

AT89S51 mempunyai struktur memori yang terdiri atas :

- RAM internal**, memori sebesar 128 byte yang biasanya digunakan untuk menyimpan variabel atau data yang bersifat sementara.

- b) *Special function register* (register fungsi khusus), memori yang berisi *register-register* yang berfungsi khusus disediakan oleh mikrokontroler tersebut, seperti timer, serial dan lain-lain.
- c) *Flash PEROM*, memori yang digunakan untuk menyimpan instruksi-intruksi MCS52.



Gambar 2.21. Alamat *RAM Internal* dan *Flash PEROM*³

AT89S51 mempunyai struktur memori yang terpisah antara *RAM internal* dan *flash PEROM*-nya. Seperti yang tampak pada gambar 2.21, *RAM internal* dialamati oleh *RAM address register* (register alamat RAM) sedangkan *flash PEROM* yang menyimpan perintah-perintah MCS-51 dialamati oleh program *address register* (register alamat program). Dengan adanya struktur memori yang terpisah tersebut, walaupun *RAM internal* dan *flash PEROM*, mempunyai alamat awal yang sama, yaitu alamat 00, namun secara fisiknya kedua memori tersebut tidak saling berhubungan. Pemisahan dilakukan secara logika, hal ini disebabkan CPU dapat mengakses sampai 64 Kbyte memori program dan 64 Kbyte memori data. Lebar memori data internal adalah 8 bit dan 16 bit (register PC dan register DPTR). (Afgianto Eko Putra, 2002 : 30).

Selain mempunyai program dan memori data, AT89C52 juga memiliki beberapa register fungsi khusus atau *spesial function register (SFR)*. Register ini menggunakan *addres* dari 80h – ffh. Namun semua data ini digunakan untuk *SFRS*.

2.3.3. Memori Program

Memori program menggunakan alamat sepanjang 64 Kbyte dengan 8K bytes (alamat \$0000 sampai \$0FFF) yang merupakan memori internal, sehingga 60 Kbytes merupakan memori eksternal.

Memori program merupakan tempat menyimpan data yang permanen. Memori program merupakan memori yang hanya dapat dibaca atau lebih dikenal dengan nama *Read Only Memori (ROM)*. Data dalam *ROM* tidak akan terhapus meskipun catu daya dimatikan. (bersifat *non volatile*). Karena sifatnya ini maka *ROM* hanya dapat digunakan untuk menyimpan program.

Ada beberapa tipe *ROM*, diantaranya *ROM* murni yaitu memori yang telah diprogram oleh pihak pabrik, *PROM*, *EPROM* dan *EEPROM*, *PROM* merupakan memori yang dapat diprogram oleh pemakai tetapi tidak dapat diprogram ulang. *EPROM* merupakan *PROM* yang dapat diprogram ulang. *ROM* ini terdapat pada mikrokontroller 8751.

EEPROM pada prinsipnya sama dengan *EPROM*. Perbedaannya terletak pada pengisian dan pengosongan atau penghapusan program. Untuk mengisi program yang baru, pada *EPROM* harus dihapus terlebih dahulu dengan sinar ultra violet, sedangkan pada *EEPROM* pengisian dapat dilakukan secara langsung, berarti program yang lama ditumpuki oleh program yang baru, karena itu secara

otomatis akan menyebabkan program yang lama akan hilang, sehingga *EEPROM* lebih fleksibel dibandingkan dengan *EPROM*.

2.3.4. Memori Data

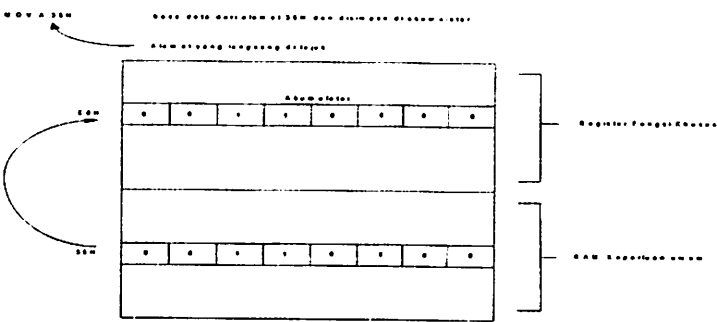
Memori data atau *RAM (Random Acces Memori)* adalah tempat menyimpan data yang bersifat *volatile* yaitu data akan hilang bila tidak ada catu. Memori data keluarga MCS 51 dapat memiliki pengalamatan sampai 64 Kbyte yang didapat dari memori data eksternal. Selain dari data eksternal, pada MCS 51 memiliki 128 Bytes *RAM* internal ditambah sejumlah register fungsi khusus atau *Special Function Register*.

tabel 2.4. Byte Special Function Register

SYMBOL (1)	NAME (2)	ADDRESS (3)
ACC	ACCUMULATOR	0E0H
B	B REGISTER	0F0H
PSW	PROGRAM STATUS WORD	0D0H
SP	STACK POINTER	81H
DPTR	DATA POINTER 2BYTES	
DPL	LOW BYTE	82H
DPH	HIGH BYTE	83H
P0	PORT 0	80H
P1	PORT 1	90H
P2	PORT 2	0A0H
P3	PORT 3	0B0H
IP	INTERUPT PRIORYTI CONTROL	0B8H
IE	INTERUPT ENABLE CONTROL	0ABH

TMOD	TIMER/COUNTER MODE CONTROL	89H
TCON	TIMER/COUNTER CONTROL	88H
+T2CON	TIMER/COUNTER 2 CONTROL	0C8H
TH0	TIMER/COUNTER 0 HIGH CONTROL	8CH
TL0	TIMER/COUNTER 0 LOW CONTROL	8DH
TH1	TIMER/COUNTER 1 HIGH CONTROL	8DH
TL1	TIMER/COUNTER 1 LOW CONTROL	8BH
TH2	TIMER/COUNTER 2 HIGH CONTROL	0CDH
TL2	TIMER/COUNTER 2 LOW CONTROL	0CCH
RCAP2H	T/C 2 CAPTURE REG. HIGH BYTE	0CBH
+RCAP2L	T/C 2 CAPTURE REG. LOW BYTE	0CAH
SCON	SERIAL CONTROL	98H
SBUF	SERIAL DATA BUFFER	99H
PCON	POWER CONTROL	91H

RAM keperluan umum dimulai dari alamat 30H hingga 7FH dan dapat diakses dengan pengalamatan langsung ataupun tidak langsung, pengalamatan langsung dilakukan ketika salah satu *operand* merupakan bagian yang menunjukkan lokasi yang dialamati ke Akumulator secara langsung seperti pada contoh berikut:



Gambar 2.22. Pemindahan Data 00110000b dari Alamat 35H³

Sedangkan pengalamatan tidak langsung pada lokasi dari *RAM internal* ini adalah akses dari data memori ketika alamat memori tersebut tersimpan dalam suatu *register* R0 atau R1, R0 dan R1 adalah dua buah *register* pada mikrokontroler berarsitektur MCS51 yang dapat digunakan sebagai *pointer* dari sebuah lokasi memori pada *RAM internal*.

Contoh :

MOV R0, #35H : R0 diisi dengan data 35H

MOV A, @R0 : baca data alamat yang ditunjukkan oleh R0

Pada contoh diatas, R0 diisi dengan data 5, berbeda dengan contoh sebelumnya, akumulator dengan data pada alamat 35H. perbedaan ini terlihat dengan adanya tanda '#'. Kemudian data dialamatkan yang nilainya tersimpan pada R0 atau alamat 35H dipindah ke akumulator.

Pengalamatan secara tidak langsung biasa digunakan untuk mengakses beberapa lokasi memori dengan letak yang beraturan seperti pada contoh berikut :

MOV R0, #30H : R0 diisi dengan data 30H

MOV @R0, #05 : Data 5 diisikan kealamat yang ditujuk oleh
R0

INC R0 : R0 menunjuk ke alamat selanjutnya

CJNE R0, #35H, LOOP :Jika R0 belum mencapai 35H, lompat
kelabel loop

AT89C52 mempunyai 21 *special function register* (register fungsi khusus) yang terletak pada alamat 80H hingga FFH beberapa register ini juga mampu

dialamati dengan pengalamatan bit sehingga dapat dioperasikan seperti yang ada pada RAM yang lokasinya dapat dialamati dengan pengalamatan bit.

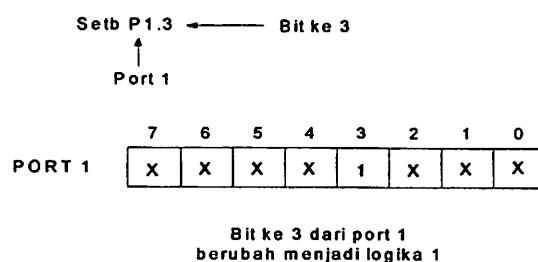
2.3.5. *Accumulator*

Register ini terletak pada alamat E0H, hampir semua aritmetik dan operasi logika selalu menggunakan register ini, untuk proses pengambilan dan pengiriman data ke memori external juga di perlukan register ini.

2.3.6. *Port*

AT89C52 mempunyai 4 buah *port*, yaitu *port 0*, *port 1*, *port 2*, dan *port 3* yang terletak pada alamat 80H, 90H, A0H, dan B0H. namun jika digunakan *external memory* atau fungsi-fungsi special, seperti *external interrupt*, *serial external timer*, *port 0*, *port 2*, dan *port 3* tidak dapat digunakan sebagai *port* dengan fungsi umum. Untuk itu disediakan *port 1* yang dikhususkan untuk port dengan fungsi umum.

Contoh, jika dilakukan *instruksi set* P1.3, ketiga dari *port 1* akan ber kondisi *high* (5V) tanpa mempengaruhi *bit-bit* yang lain dalam *port* ini, seperti terlihat pada gambar 4 bit ke 3 dari *port 1* terletak pada alamat 93H oleh karena itu dengan instruksi *setb 93H*. instruksi *setb P1.3* dapat juga diganti



Gambar 2.23. Port³

BAB III

PERANCANGAN PERANGKAT KERAS DAN PERANGKAT LUNAK

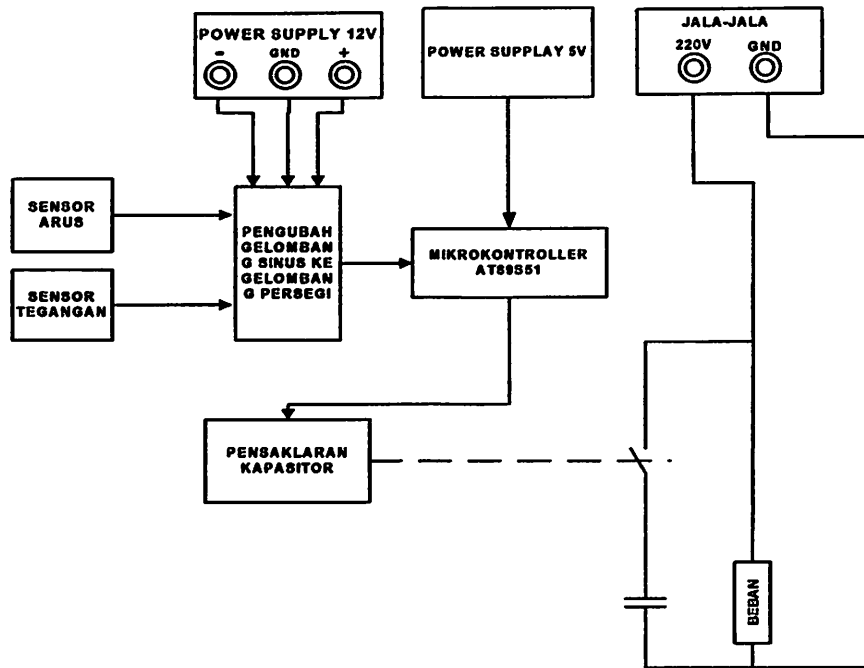
3.1. PERANCANGAN PERANGKAT KERAS

Secara umum rancangan perangkat keras dari alat *electronic power factor* controller terdiri dari 5 bagian utama, yaitu :

- 1) Rangkaian pengubah sinyal bentuk gelombang sinus ke persegi
- 2) Mikrokontroller sebagai pengendali pensaklaran dari kapasitor bank
- 3) Rangkaian Pensaklaran Kapasitor
- 4) Kapasitor bank 5 step sebagai plant dari system yang masing- masing berkapasitas $12\mu\text{F}$ 400 volt
- 5) Catu Daya : sebagai sumber tenaga listrik bagi seluruh modul.

3.1.1. Diagram Blok

Secara garis besar, rancangan keseluruhan dari sistem ini dapat digambarkan seperti gambar 5 berikut ini.

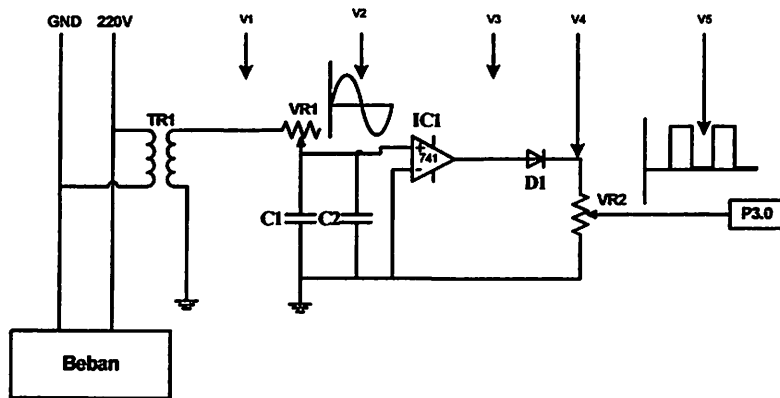


Gambar 3.1. Diagram Blok Keseluruhan System.

Keterangan :

- a. Catu Daya :
 - o 5 V : Mikrokontroller
 - o +12V dan -12V : rangkaian pengubah sinus ke persegi
- b. Mikrokontroller ATMEL AT89S51
- c. Sensor arus dan tegangan
- d. Kapasitor bank

3.1.2. Rangkaian Sensor Tegangan, dan Pengubah Sinus ke Persegi



Gambar 3.2. Rangkaian Sensor Tegangan, dan Pengubah Sinus ke Persegi.

a. Daftar Komponen :

- ⬇ Potentiometer (VR_1) : $10K\Omega$.
- ⬇ Potentiometer (VR_2) : $10K\Omega$.
- ⬇ Trafo Tegangan : 3A
- ⬇ Trafo Arus : 50/5 A
- ⬇ Capacitor(C_1) : $3,3\mu F$
- ⬇ Capacitor(C_2) : $47\mu F$
- ⬇ Op Amp (IC1) : LM 741
- ⬇ Dioda (D1) : 1A

b. Prinsip kerja

Inputan transformator pada rangkaian ini digunakan untuk menurunkan tegangan dimana tegangan yang diturunkan tidak sampai membahayakan Op Amp tegangan masukan transformator 220V AC dan diturunkan sampai 3V AC.

karena tegangan yang keluar pada sisi sekunder tertinggal dari tegangan yang masuk di sisi primer maka oleh karena itu perlu di geser dengan rangkaian penggeser fasa yang terdiri dari satu op amp satu tahanan dan satu kapasitor adalah semua yang diperlukan untuk penggeser fasa dalam gambar 3.2. Sudut fasa θ hanya tergantung pada VR,dan C dan F dari Ei saja. Hubungannya adalah

$$\Theta = 2 \arctan 2 \pi f VR C \quad (3.1)$$

Dimana θ dalam derajat ,F dalam Hertz,VR dalam ohm dan C dalam farad .persamaan (2) berguna untuk mencari sudut fasa jika VR dan C diketahui,

$$VR = \frac{\tan(\theta / 2)}{2\pi f C} \quad (3.2)$$

karena tegangan yang keluar pada sisi sekunder tertinggal dari tegangan yang masuk di sisi primer tidak melebihi 90° dan C yang digunakan adalah $50,3\mu F$ (C_1+C_2) maka untuk mencari VR dengan frekuensi 50 Hz

$$VR = \frac{1}{2\pi 50 \times 50,3 \times 10^{-6}} = 10k\Omega$$

Jadi dari perhitungan dengan Ri $10k\Omega$ cukup untuk digunakan sebagai penggeser fasa.

Rangkaian penggeser fasa kemudian sebagai masukan dari operasional amplifier dimana fungsi dari operasional amplifier ini untuk mengubah gelombang sinus ke kotak ,karena keluaran dari operasional amplifier keluarannya berayun dari positif dan negatif maka agar hanya menghasilkan gelombang positif digunakan sebuah penyearah dioda karena tegangan yang keluar dari dioda merupakan tegangan saturasi dari perasional amplifier yang besarnya 10V maka tegangan ini perlu diturunkan menjadi 5V dimana tegangan ini tidak

membahayakan mikrokontroller dan tegangan inilah yang digunakan sebagai masukan dari mikrokontroller.

Analisa perhitungan rangkaian sensor tegangan dan pengubah sinus ke persegi

$$\text{Diket : } V_{p_1} = 4,8V$$

$$V_R = 83,3\Omega$$

$$C_1 = 3,3 \mu F$$

$$C_2 = 47\mu F$$

$$\text{Maka } V_2$$

$$V_{eff_1} = \sqrt{2} \times V_{p_1}$$

$$= \frac{4,8}{\sqrt{2}}$$

$$= 3,394V$$

$$C = C_1 + C_2$$

$$= 3,3\mu F + 47\mu F$$

$$= 50,3\mu F$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$= \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 50,3 \times 10^{-6}}$$

$$= 63,28\Omega$$

$$V_2 = \frac{-Jx_c}{R_1 - JX_c} \times V_1$$

$$= \frac{-J63,28}{83,3 - J63,28} \times 3,394$$

$$= 2,053 \angle 52,776^\circ$$

$$V_3 = V_{sat}$$

$$V_3 = 10V \text{ (menurut data sheet dari Op Amp dengan catu daya } \pm 12V)$$

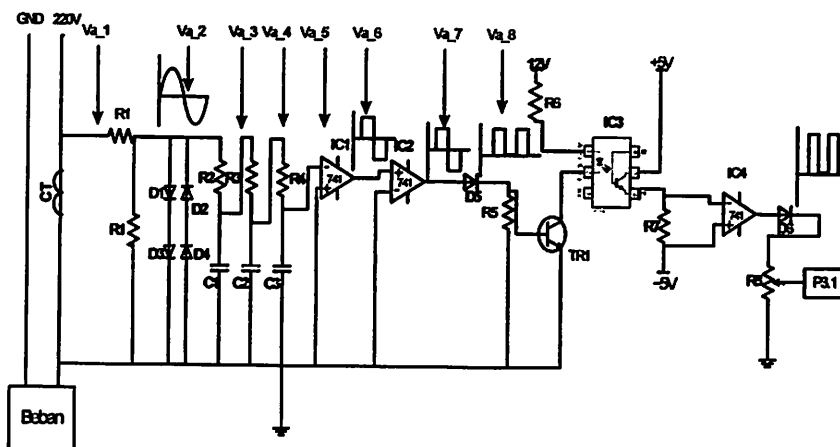
$$V_4 = V_3 - V_d$$

$$= 10V - 0.7V$$

$$= 9,3V$$

$$V_5 = 5V$$

3.1.3. Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi



Gambar 3.3. Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi.

a. Daftar Komponen :

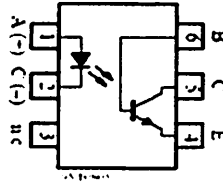
- ⬇ Resistor (R1),(R2) : 10Ω
- ⬇ Resistor (R2),(R3)dan (R4) : 100KΩ
- ⬇ Resistor (R5),(R6)dan (R7) : 10KΩ
- ⬇ Transistor (TR1) : 2N3904

- ⬇ Potentiometer (R8) : 10 K Ω .
- ⬇ Trafo Arus : 50/5 A
- ⬇ Capasitor(C1),(C2)dan(C3) : 0,01 μ F
- ⬇ Op Amp (IC1), (IC2)dan(IC3) : LM 741
- ⬇ Dioda (D1),(D2),(D3),(D4) : 1A
- ⬇ Dioda (D5)dan(D6) : 1A

b. Prinsip Kerja :

Trafo arus digunakan untuk menyadap gelombang arus yang masuk ke beban keluaran dari trafo arus sebagai masukan dari operasional amplifier yang pertama karena operasional amplifier tipe 741 mempunyai penjalaran yang lambat yaitu 0.5/ μ s maka untuk menghasilkan pulsa yang bagus perlu disangga oleh operasional amplifier yang ke dua, karena keluaran dari operasional amplifier keluarannya berayun dari positif dan negatif maka agar hanya menghasilkan gelombang positif digunakan sebuah penyearah dioda dan tegangan yang keluar dari dioda merupakan tegangan saturasi dari operasional amplifier yang besarnya 10V maka tegangan ini digunakan untuk memicu basis dari transistor. Untuk menghindari gangguan dari rangkaian yang lain maka digunakanlah opto coupler tipe 2N45 seperti gambar 3.4 dan keluaran dari opto coupler kaki no 4 digunakan sebagai masukan dari operasional amplifier karena keluaran dari operasional amplifier keluarannya berayun dari positif dan negatif maka agar hanya menghasilkan gelombang positif digunakan sebuah penyearah dioda karena tegangan yang keluar dari dioda merupakan tegangan saturasi dari

perasional amplifier yang besarnya 10V maka tegangan ini perlu diturunkan menjadi 5V dimana tegangan ini tidak membahayakan mikrokontroller dan tegangan inilah yang digunakan sebagai masukan dari mikrokontroller



Gambar 3.4. Optocoupler 4N25.

Analisa perhitungan rangkaian sensor arus dan pengubah sinus ke persegi

$$C_3 = 10\text{nF}$$

$$-jX_{C_3} = -j \frac{1}{2\pi f C}$$

$$= -j \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 10 \times 10 \times 10^{-9}}$$

$$= 318309,8864 \angle -90^\circ$$

$$Z_3 = \frac{R_4 \times (-jX_{C_3})}{R_4 + (-jX_{C_3})}$$

$$= \frac{100000 \angle 0^\circ \times 318309,8864 \angle -90^\circ}{100000 - j318309,8864}$$

$$= \frac{100000 \angle 0^\circ \times 318309,8864 \angle -90^\circ}{333648,2935 \angle -72,55940552^\circ}$$

$$= 95402,82158 \angle -17,44059449^\circ$$

$$C_2 = 10\text{nF}$$

$$-jX_{C_2} = 318309,8864 \angle -90^\circ$$

$$\begin{aligned}
 Z_2 &= \frac{-JXc_2 x Z_3}{-JXc_2 + Z_3} \\
 &= \frac{318309,8864 \angle 90^\circ x 95402,82158 \angle -17,44059449^\circ}{-j318309,8864 + 91016,99868 - j28593,78108}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{3,0367661 x 10^{10} \angle -107,44059449^\circ}{358645,0173 \angle -75,29868262^\circ}$$

$$= 84673,31153 \angle -32,14186228^\circ$$

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$$

$$\begin{aligned}
 -JXc_1 &= -JXc_2 \\
 &= -j318309,8864
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \frac{-JXc_1 x Z_2}{-JXc_1 + Z_2} \\
 &= \frac{318309,8864 \angle -90^\circ x 84673,31153 \angle -32,14186228^\circ}{-j318309,8864 + 74762,09666 - j39751,71177} \\
 &= \frac{2,6952352 x 10^{10} \angle -122,14186228^\circ}{365783,3772 \angle -78,20626629^\circ} \\
 &= 73683,91698 \angle -43,93559591^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_3 &= \frac{Z_1}{R_1 + Z_1} x V_2 \\
 &= \frac{73683,91698 \angle -43,93559591^\circ}{100000 + 53061,27599 - j51125,53777} x 0,127 \angle 0^\circ \\
 &= \frac{19125,50376 \angle -65,82089413^\circ}{161374,0215 \angle -18,47035381^\circ} x 0,127 \angle 0^\circ \\
 &= 0,118516621 \angle -47,35063032^\circ x 0,127 \angle 0^\circ
 \end{aligned}$$

$$= 0,01505161 \angle -47,35063032^\circ$$

$$V_4 = \frac{Z_2}{R_3 + Z_2} x 0,0150161 \angle -47,35063032^\circ$$

$$= \frac{73683,91698 \angle -43,93559591}{100000 + 53061,27599 - j51125,53777^\circ} x 0,0150161 \angle -47,35063032^\circ$$

$$= \frac{161374,0215 \angle -18,47035381^\circ}{1106,433846 \angle -91,28622623^\circ}$$

$$= 0,006856331 \angle -72,81587242^\circ$$

$$V_5 = \frac{-jX_{C3}}{R_4 - jX_{C3}} x V_4$$

$$= \frac{318309,8864 \angle -90^\circ}{100000 - j318309,8864} 0,006856331 \angle -72,81587242^\circ$$

$$= \frac{333648,2933 \angle -72,55940551^\circ}{2182,43794 \angle -162,815887242^\circ}$$

$$= 0,006541132 \angle -90,37529271^\circ$$

$$V_6 = V_{sat}$$

$$V_6 = 10V \text{ (menurut data sheet dari Op Amp dengan catu daya } +/-12V)$$

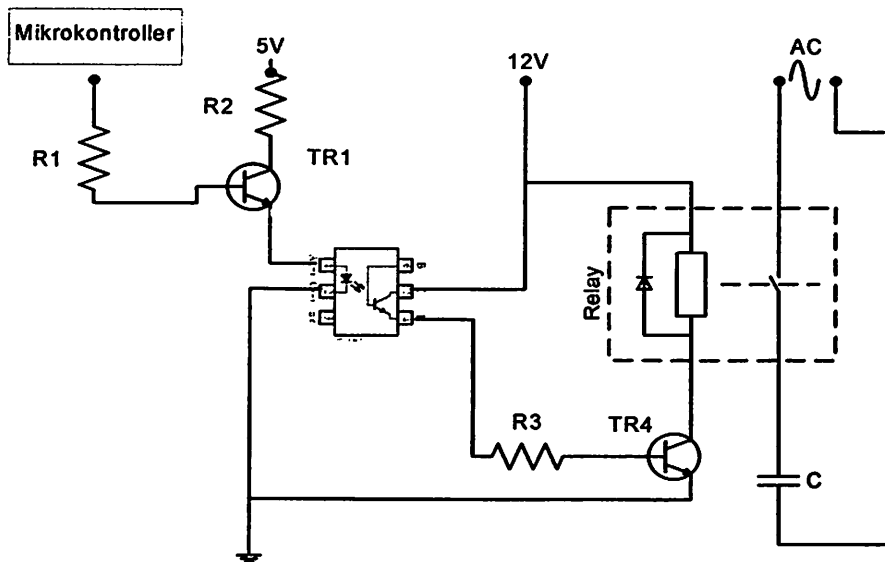
$$V_7 = 10V \text{ (menurut data sheet dari Op Amp dengan catu daya } +/-12V)$$

$$V_8 = V_7 - V_d$$

$$= 10V - 0,7V$$

$$= 9,3V$$

3.1.4. Rangkaian Pensaklaran Kapasitor



Gambar 3.5. Rangkaian Pensaklar Kapasitor.

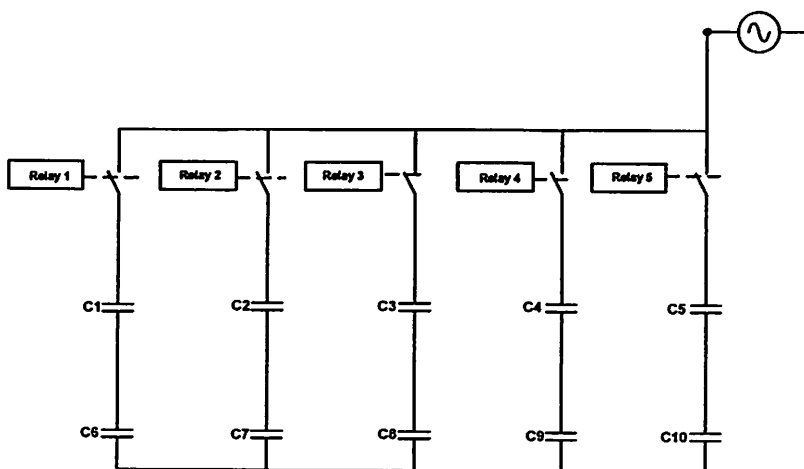
- a. Daftar Komponen :
- Tahanan R_1 : $10K\Omega$.
 - Tahanan R_2 : 560Ω .
 - Tahanan R_3 : $2K2\Omega$
 - Transistor TR1 : 2N3904.
 - Transistor TR2 : BC 107.
 - Opto Coupler : 4N25.
 - Relay : 12 V-DC.
 - Dioda : 1 A.

b. Prinsip Kerja :

Fungsi rangkaian pengendali adalah sebagai pengendali saklar elektronik yang secara otomatis akan terhubung dan terputus hubungannya

melalui sebuah relay yang bekerja secara elektromagnetis. Prinsip kerja rangkaian pengendali ini adalah jika ada sinyal yang berlogika 1 dari mikroprosesor melalui port P0.1 maka sinyal tersebut akan membuat transistor menjadi on. Keadaan tersebut akan menyebabkan kumparan yang ada di dalam relay dilewati arus. Kondisi tersebut akan menyebabkan magnet kon relay yang NO terhubung secara otomatis dan kapasitor akan memberikan daya reaktifnya. Jika ada sinyal yang berlogika 0 dari mikroprosesor melewati port P0.1 maka sinyal tersebut akan menyebabkan transistor yang berada di rangkaian pengendali menjadi berada dalam keadaan cut off sehingga transistor menjadi off. Kondisi off dari transistor ini akan membuat kumparan yang ada di dalam relay tidak dilewati arus sehingga tidak ada energi elektromagnetis yang membuat relay NO terhubung dengan sumber arus bolak – balik sehingga kapasitor tidak memberikan daya reaktifnya ke gejala-jala.

3.1.5. Kapasitor Bank



Gambar 3.6. Rangkaian Kapasitor Bank.

Daftar komponen

- ✓ Relay 12 V-DC
- ✓ Kapasitor Masing –masing berkapasitas 25 μ F 400V-AC

Prinsip kerja

Apabila ada sinyal dari mikrokontroller berlogika 0 maka relay akan OFF dan kapasitor tidak akan memberikan daya reaktifnya, tetapi bila berlogika 1 maka relay akan ON dan kapasitor akan memberikan daya reaktifnya, karena kapasitor seri maka C_{12} adalah :

$$\begin{aligned}
 C_{12} &= \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \\
 &= \frac{25\mu F \times 25\mu F}{25\mu F + 25\mu F} \\
 &= \frac{125\mu F}{50\mu F} \\
 &= 12,5\mu F
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_c &= \frac{1}{2\pi f C} \\
 &= \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 12,5 \times 10^{-6}} \\
 &= 254,777\ \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{E^2}{X_c} \\
 &= \frac{220^2}{254,777} \\
 &= 189,97\ \text{VAR}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan daya reaktif yang diberikan sebesar 189,97 VAR

Tabel 3.1 daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor yang di saklar

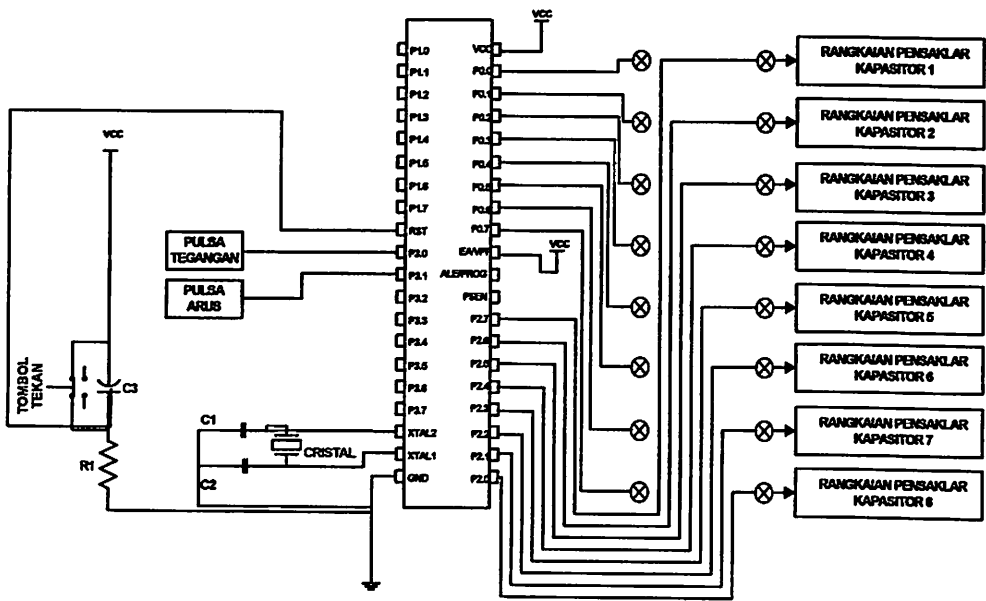
No -	Port Mikrokontroler					Q(VAR) -
	P2.0	P2.1	P2.1	P2.1	P2.1	
1	1	0	0	0	0	189,97
2	1	1	0	0	0	397,94
3	1	1	1	0	0	596,91
4	1	1	1	1	0	795,88
5	1	1	1	1	1	994,85

Keterangan :

1 artinya kapasitor yang tersaklar

0 artinya kapasitor yang tidak tersaklar

3.1.6. MIKROKONTROLLER



Gambar 3.7. Rangkaian Mikrokontroller Beserta Masukan dan Keluarannya.

Daftar komponen :

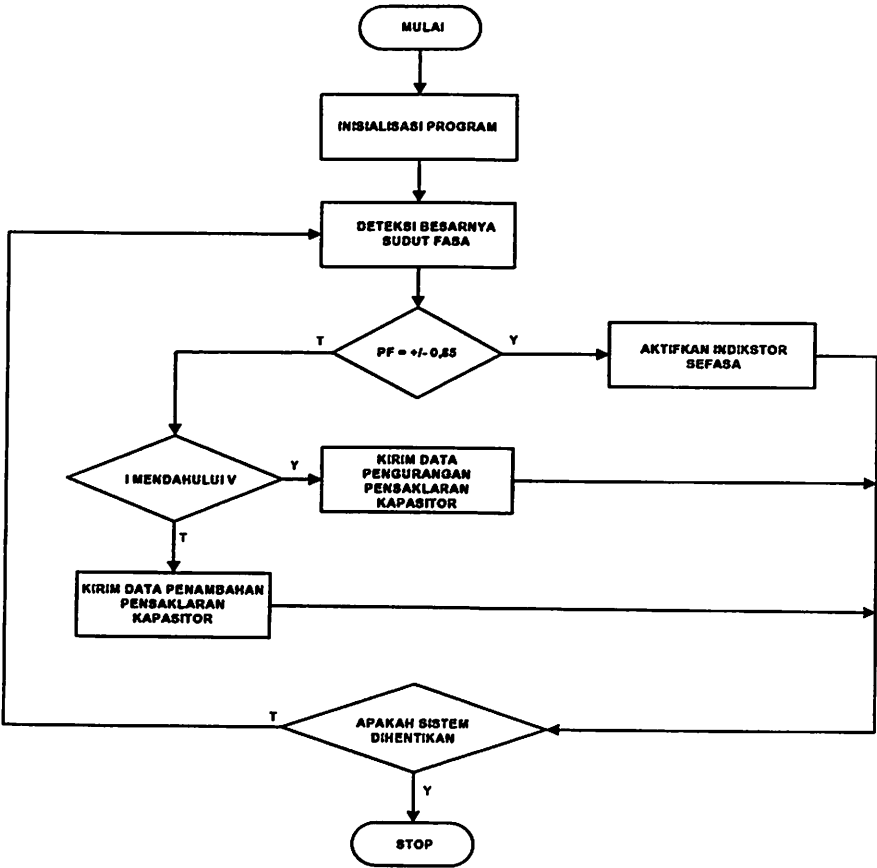
- Mikroprosesor AT89S51
- Tombol tekan

- Kapasitor (C3) 10 μ F
- Kapasitor (C2) 30pF
- Osilator Cristal 12MHz
- Resistor 10K Ω
- LED

Mikrokontroller disini gunanya mengolah sinyal yang masuk yaitu antara sinyal tegangan dan sinyal arus yang selanjutnya akan diproses dan agar dapat memproses kedua sinyal tadi maka diperlukan sebuah program yang nantinya menentukan pensaklaran dari kapasitor. Mikrokontroller yang terdiri dari 32 kaki I/O yang menjadi 4 port pada perancangan alat untuk penentuan kaki-kakinya telah dijabarkan seperti gambar 3.7.

3.2. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

3.2.1. Flowchat Algoritma Pemograman

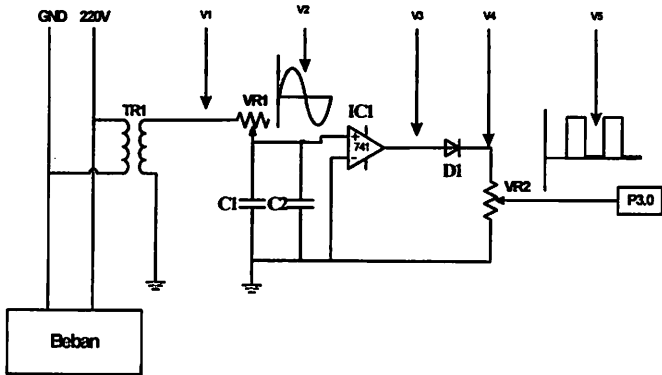


BAB IV

PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA DATA

4.1. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan dan Pengubah Sinus ke Persegi.

Untuk membuktikan bahwa rangkaian sensor tegangan dan pengubah sinus ke persegi dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *osiloscope* dan hasilnya dibandingkan dengan perencanaan dan bila perlu dilakukan perbaikan. Gambar 4.1. menjabarkan dititik mana saja yang diamati.

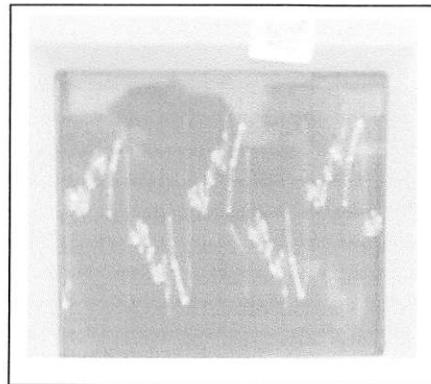


Gambar 4.1.
Rangkaian Sensor Tegangan dan Pengubah Sinus ke Persegi.

Tabel 4.1. Data Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan, dan Pengubah Sinus ke Persegi.

Pengujian rangkaian sensor arus,dan pengubah sinus ke persegi					
No	Pengukuran	Perancangan	Pengujian	Kesalahan	Kesalahan(%)
1		V(Volt)	V(Volt)	V(Volt)	V(Volt)
2	V2	2,053	2,333	0,28	12,00171453
3	V3	10	10,2	0,2	1,960784314
4	V4	9,3	9,3	0	0
5	V5	5	5	0	0

Va_4 merupakan keluaran dari filter 3 yang mana semua harmonisa sudah hilang dengan kata lain hanya tinggal frekuensi fundamental yaitu 50Hz.

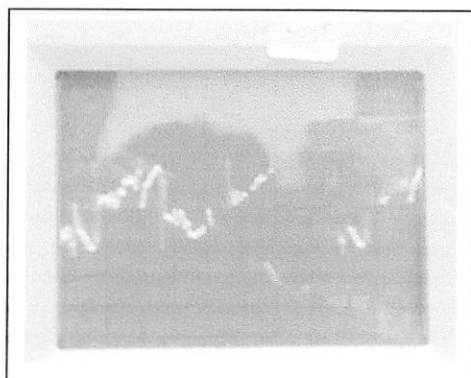


V/DIV = 0,1V

T/DIV = 5mS

Gambar 4.3. Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi pada keluaran CT.

Pada pengujian rangkaian sensor arus, dan pengubah sinus ke persegi pada keluaran CT terlihat jelas harmonisa yang keluar dari trafo arus, hal ini dikarenakan arus yang melewati CT mengandung harmonisa. Terjadinya harmonisa ini diakibatkan oleh beban yang tidak linier seperti penyerah, kejenuhan trafo, ballas elektronik dan lain-lain.

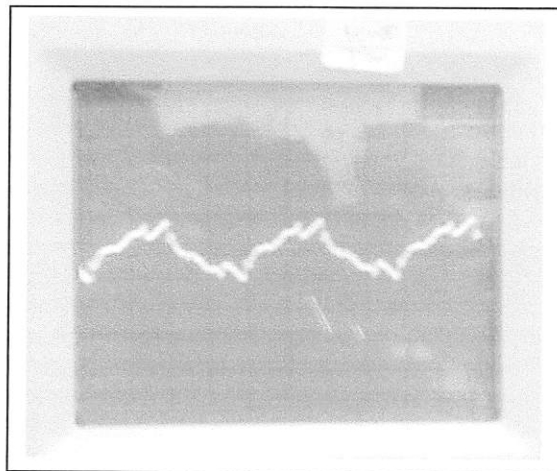


V/DIV = 0,1V

T/DIV = 5mS

Gambar 4.4. Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi pada Tegangan Keluaran dari Pembagi Tegangan.

Terlihat harmonisa yang terjadi separuh dari tegangan yang keluar dari CT hal ini terjadi karena pembagi tegangan dimana tegangan keluaran CT dibagi menjadi dua. tujuan rangkaian pembagi tegangan ini bukan untuk membagi tegangan yang keluar dari CT, tetapi hanya untuk melindungi Op Amp ketika kapasitor terhubung dengan jala-jala. Ketika kapasitor terhubung maka terjadi transient dimana kapasitor pada waktu itu menarik arus yang tinggi sehingga keluaran CT akan menghasilkan tegangan keluaran yang tinggi yang dapat membahayakan Op Amp.

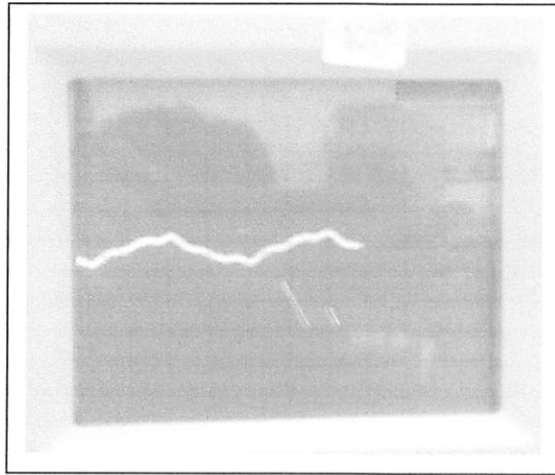


V/DIV = 0,1V

T/DIV = 5mS

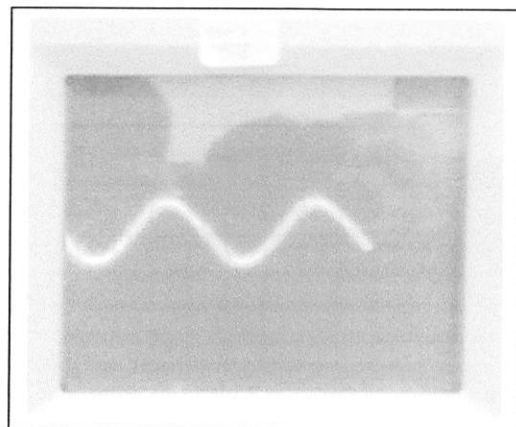
Gambar 4.5. Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi pada Tegangan Keluaran dari Filter 1

Pada foto diatas terlihat tegangan keluaran dari filter 1 jika dibandingkan dengan tegangan yang keluar dari CT maka akan terlihat bahwa harmonisa mulai teredam hal ini dikarenakan telah difilter oleh rangkaian RC yang seri.


 $V/DIV = 0,1V$
 $T/DIV = 5mS$

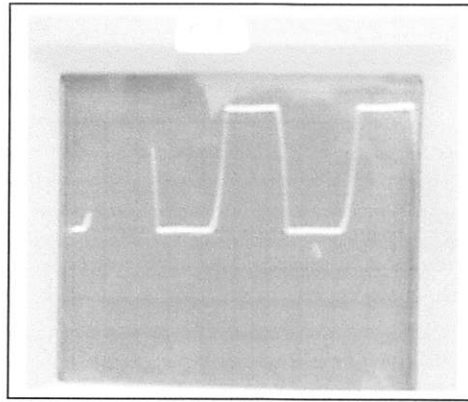
Gambar 4.6. Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi pada Tegangan Keluaran dari Filter 2

Karena keluaran dari filter yang pertama masih menyisakan harmonisa maka hal ini perlu difilter lagi menggunakan filter yang ke dua. Gambar pada tegangan keluran dari filter yang kedua terlihat bahwa keluaran dari filter ini mulai mendekati sinus murni.


 $V/DIV = 0,1 \text{ Volt}$
 $T/DIV = 5ms$

Gambar 4.7. Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi pada Tegangan Keluaran dari Filter 3

Terlihat pada tegangan keluaran dari filter 3 menghasilkan gelombang sinus murni dengan kata lain hanya frekuensi fundamental saja yang diloloskan.

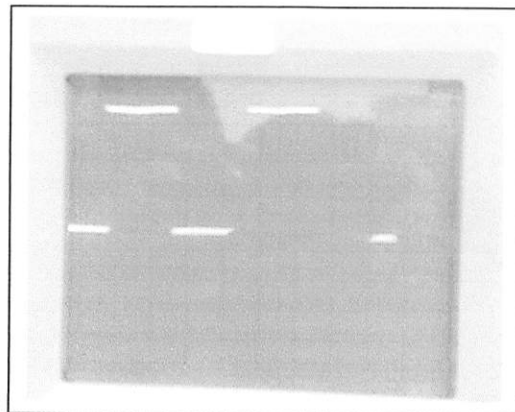


V/DIV = 5Volt

T/DIV = 5ms

Gambar 4.8. Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi pada Tegangan Keluaran dari Op Amp 1

Terlihat keluatan dari Op Amp pertama yang menghasilkan gelombang persegi yang kurang bagus hal ini dikarekan Op Amp 741 mempunyai *slew rate* $0,5V/\mu S$. Op Amp ini menghasilkan gelombang segi empat karena padanya tidak diberikan umpan balik (penguatan tak terhingga).



V/DIV=5Volt

T/DIV = 5ms

Gambar 4.9. Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi pada Tegangan Keluaran dari Op Amp 2.

Karena Op Amp yang pertama tidak bisa menghasilkan geombang kotak yang kurang bagus maka perlu dikaskadekan lagi dengan Op Amp yang kedua pada gambar diatas tampak Tegangan Keluaran dari Op Amp kedua menghasilkan gelombang persegi yang bagus.

Tabel 4.2. Data Pengujian Rangkaian Sensor Arus, dan Pengubah Sinus ke Persegi.

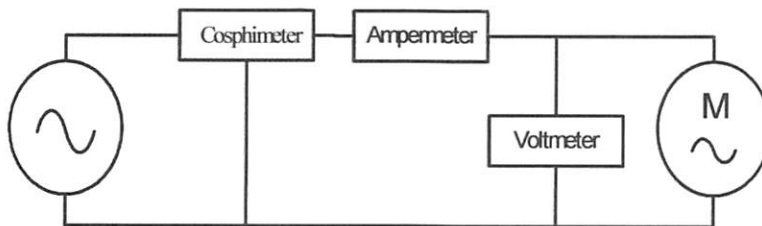
Pengujian rangkaian sensor arus,dan pengubah sinus ke persegi					
No	Pengukuran	Perancangan	Pengujian	Kesalahan	Kesalahan(%)
		V(Volt)	V(Volt)	V(Volt)	V(Volt)
1	V3	0,015	0,019	0,004	21,05263158
2	V4	0,0068	0,0056	0,0012	21,4285714
3	V5	0,0065	0,00495	0,00155	31,3131313
4	V6	10	10	0	0
5	V7	10	10	0	0
6	V8	9,3	9,3	0	0

Kesalahan antara perancangan dan pengujian dikarenakan impedansi masukan Op Amp tidak dimasukkan ke dalam perhitungan hal ini dikarenakan impedansi masukan Op Amp tidak diketahui secara pasti.

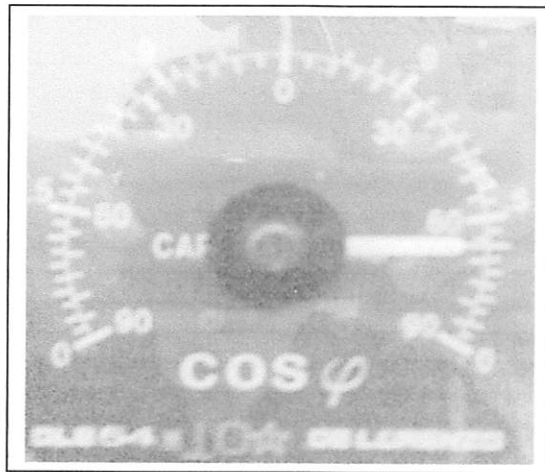
4.3. Pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1 KW.

A. Sebelum diperbaiki.

Gambar 4.1 adalah pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu cos ϕ meter, ampermeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q)

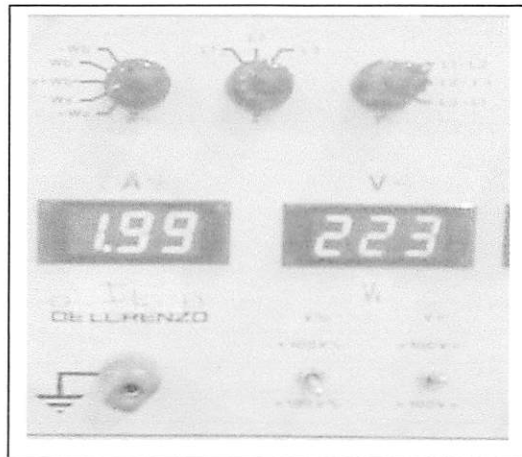


Gambar 4.10. Rangkaian Pengujian dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1 KW sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.

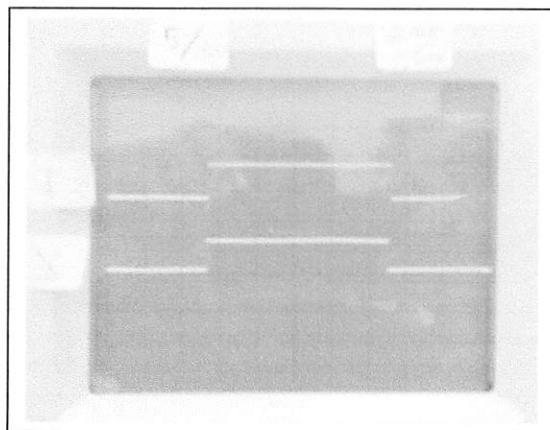


Gambar 4.11.

Penunjukan Cos ϕ meter, dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.12. Penunjukan Voltmeter dan Ampermeter, dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.13. Tampilan Vin dan Iin Sebagai Inputan Mikrokontroller, dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1kw Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.

Analisa data dari gambar diatas

$$V = 223V$$

$$I = 1,99A$$

$$\varphi = 65^\circ$$

$$S = VI$$

$$= 223 \times 1,99$$

$$= 443,77 \text{ VA}$$

$$P = VI \cos \varphi$$

$$= 223 \times 1,99 \times \cos 65^\circ$$

$$= 187,54 \text{ Watt.}$$

$$Q = VI \sin \varphi$$

$$= 223 \times 1,99 \times \sin 65^\circ$$

$$= 402,19 \text{ VAR}$$

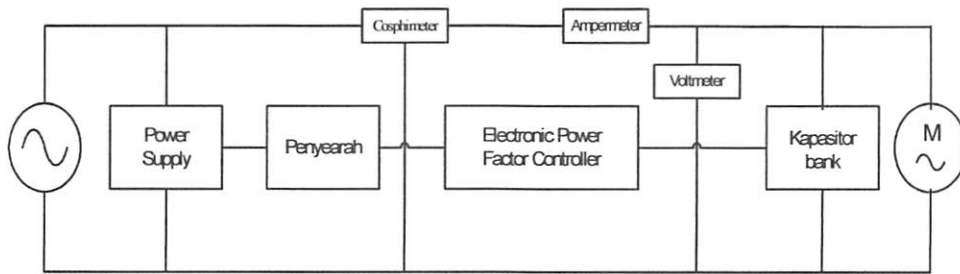
$$\text{Faktor daya} = \cos \varphi$$

$$= \cos 65^\circ$$

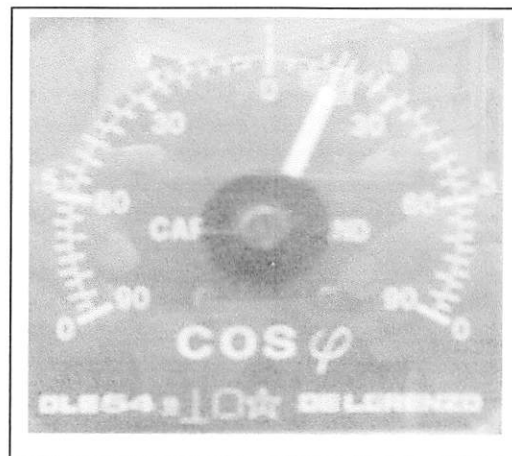
$$= 0.4226$$

B. Setelah diperbaiki

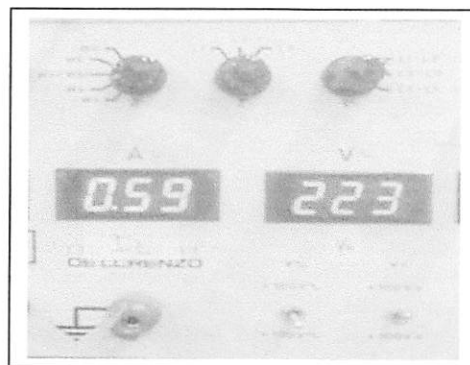
Gambar 4.14 adalah pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu cosφmeter, ampermeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q).



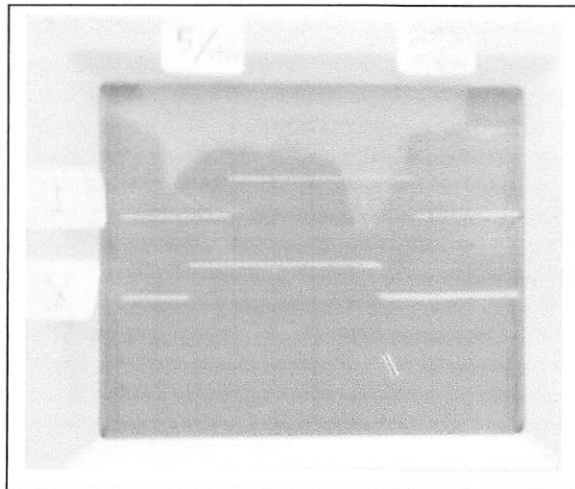
Gambar 4.14. Rangkaian Pengujian dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah Dipasangi *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.15. Penunjukan Cosφ meter, dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah diperbaiki.



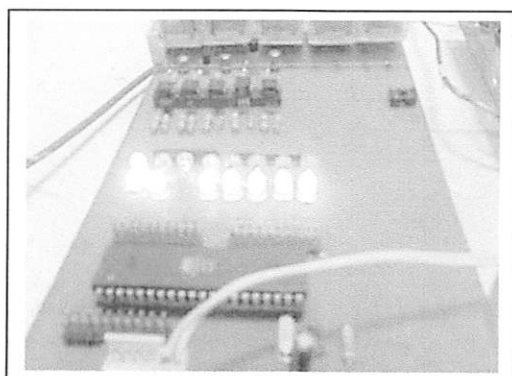
Gambar 4.16. Penunjukan Voltmeter dan Amperemeter, dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah diperbaiki.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.17. Penunjukan Vin dan Iin Sebagai Inputan Mikrokontroller, dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1kw Setelah Diperbaiki.



Gambar 4.18. LED yang Menyala Menunjukkan Relay yang *Off* dari Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah Diperbaiki.

Analisa data dari gambar diatas

V = 223V

I = 0.59A

φ = 15°

S = VI

$$= 223 \times 0.59$$

$$= 131,57 \text{ VA}$$

$$P = VI \cos \phi$$

$$= 223 \times 0,59 \times \cos 15^\circ$$

$$= 127,09 \text{ Watt.}$$

$$Q = VI \sin \phi$$

$$= 223 \times 0.59 \times \sin 15^\circ$$

$$= 34 \text{ VAR}$$

$$\text{Faktor daya} = \cos \phi$$

$$= \cos 15^\circ$$

$$= 0.9659$$

Tabel 4.3. Data Pengujian dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW

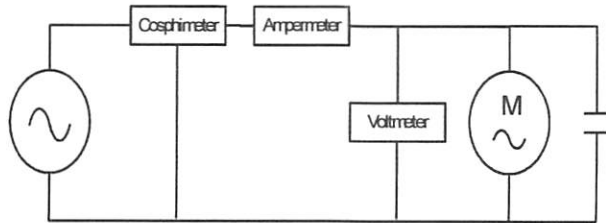
No	pengukuran	sebelum diperbaiki	setelah diperbaiki	selisih
1	V (Volt)	223	223	0
2	I (Amper)	1,99	0,59	1,4
3	ϕ (°)	65	15	50
4	S (VA)	443,77	131,57	312,2
5	P (Watt)	187,54	127,09	60,45
6	Q (VAR)	402,19	34	368,19
7	PF	0,4226	0,96959	0,54699

4.4. Pengujian Dengan Beban Kapasitor Dan Motor Yang Di Paralel

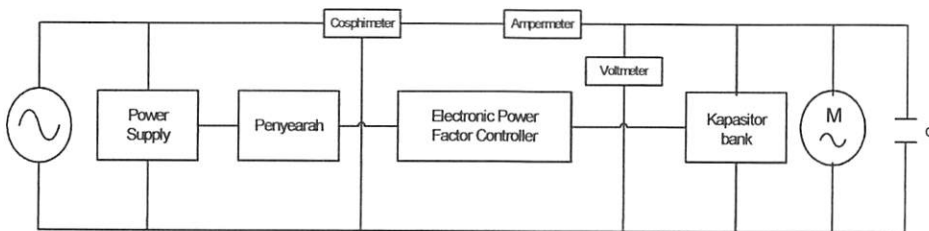
A. Sebelum dan Setelah diperbaiki

Gambar 4.10 adalah pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa yang parallel dengan kapasitor $25\mu\text{F}$ sebelum dan setelah diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu $\cos\phi$ meter, ampermeter dan voltmeter. Dengan

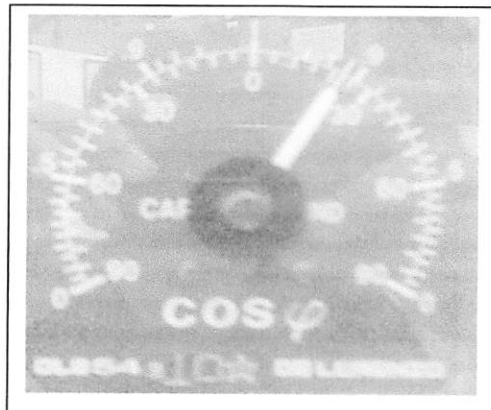
tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q)



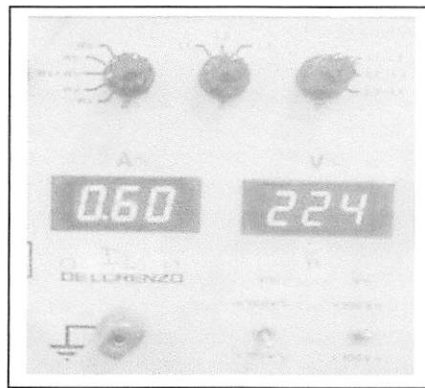
Gambar 4.19. Rangkaian Pengujian dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW yang Parallel dengan Kapasitor 25 μ F Sebelum Diperbaiki.



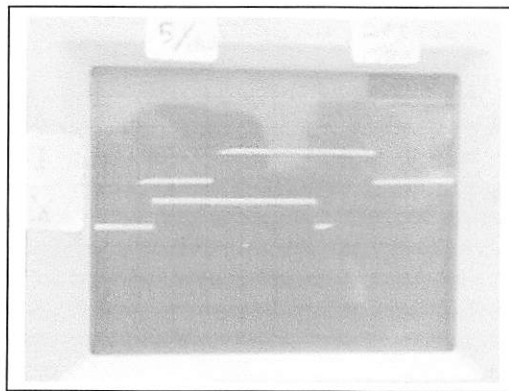
Gambar 4.20. Rangkaian Pengujian dengan Beban Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW yang Parallel dengan Kapasitor 25 μ F yang dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.21. Penunjukan Cos ϕ meter, dengan Beban Kapasitor 25 μ F yang Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.22. Penunjukan Voltmeter dan Amperemeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.23. Penunjukan V_{in} dan I_{in} Sebagai Inputan Mikrokontroller, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.

Analisa data dari gambar diatas

$$V = 224\text{V}$$

$$I = 0.6\text{A}$$

$$\varphi = 21^\circ$$

$$S = VI$$

$$= 224 \times 0,6$$

$$= 134,4 \text{ VA}$$

$$P = VI \cos\varphi$$

$= 224 \times 0,6 \times \cos 21^\circ$
 $= 125,47 \text{ Watt.}$

$Q = VI \sin \phi$
 $= 224 \times 0.6 \times \sin 21^\circ$
 $= 48,16 \text{ VAR}$

Faktor daya $= \cos \phi$
 $= \cos 21^\circ$
 $= 0.9336$

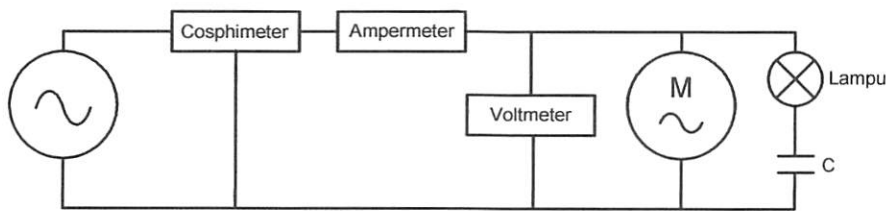
Tabel 4.4. Data Pengujian dengan Beban Capacitor 25μF dan Motor Induksi 1 fasa 1,1KW

No	pengukuran	sebelum diperbaiki	setelah diperbaiki	selisih
1	V (Volt)	224	224	0
2	I (Amper)	0,6	0,6	0
3	φ(°)	21	21	0
4	S (VA)	134,4	134,4	0
5	P (Watt)	125,47	125,47	0
6	Q (VAR	48,16	48,16	0
7	PF	0,9336	0,9336	0

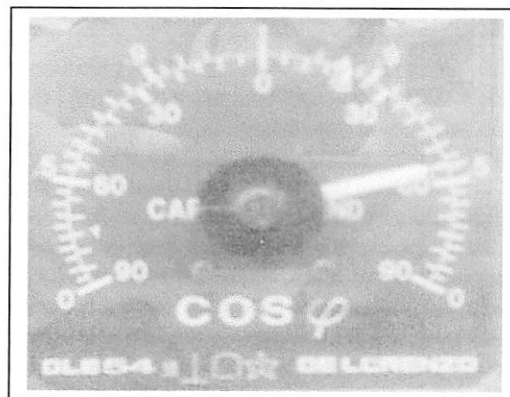
4.5. Pengujian dengan Beban Kapasitor yang Seri dengan Lampu dan Paralel dengan Motor

A. sebelum diperbaiki

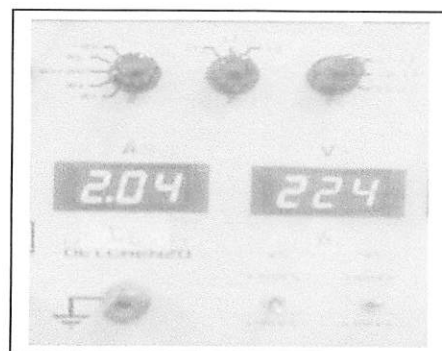
Gambar dibawah ini adalah pengujian dengan beban kapasitor 25μF yang seri dengan lampu 100W dan paralel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW sebelum diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu cosφmeter, ampermeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q)



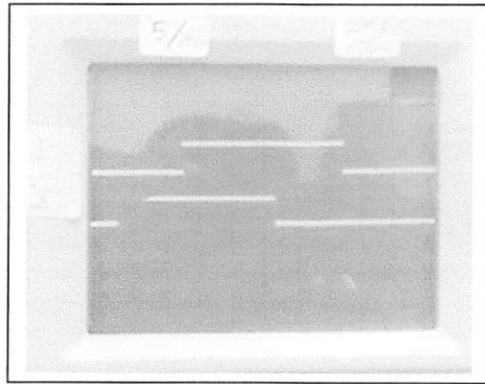
Gambar 4.24. Rangkaian Pengujian dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Lampu 100W dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa $1,1\text{KW}$ Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.25. Penunjukan Cosφmeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Lampu 100W dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa $1,1\text{KW}$ Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.26. Penunjukan Voltmeter dan Ampermeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Lampu 100W dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa $1,1\text{KW}$ sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.27. Tampilan Vin dan Iin sebagai Inputan Mikrokontroller, dengan Beban Kapasitor 25 μ F yang Seri dengan Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.

Analisa data dari gambar diatas

$$V = 224V$$

$$I = 2.04 A$$

$$\Phi = 55^\circ$$

$$S = VI$$

$$= 224 \times 2,04$$

$$= 456,96 VA$$

$$P = VI \cos\phi$$

$$= 224 \times 2,04 \times \cos 55^\circ$$

$$= 262,10 \text{ Watt.}$$

$$Q = VI \sin\phi$$

$$= 224 \times 2,04 \times \sin 55^\circ$$

$$= 374,32 VAR$$

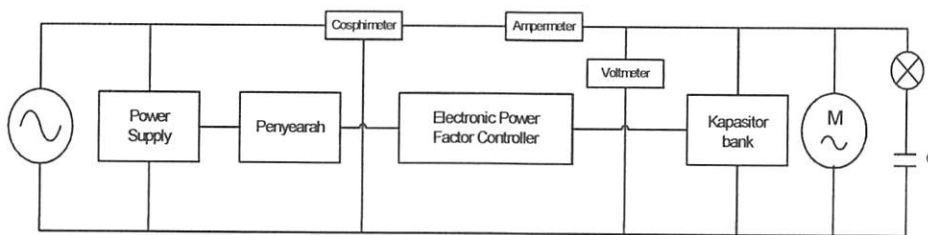
$$\text{Faktor daya} = \cos\phi$$

$$= \cos 55^\circ$$

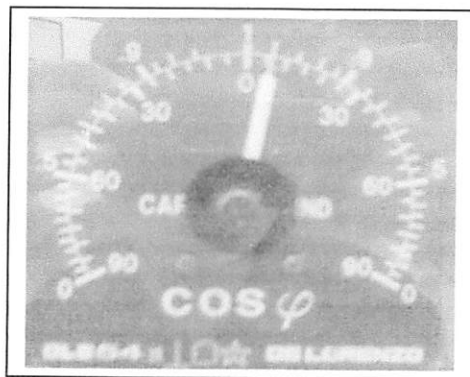
$$= 0,5736$$

B. setelah diperbaiki

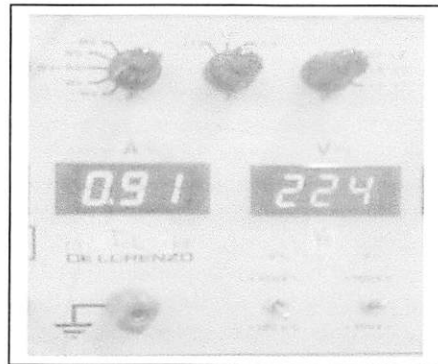
Gambar dibawah ini adalah pengujian dengan beban motor induksi 1 fasa yang parallel dengan kapasitor $25\mu\text{F}$ sebelum dan setelah diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu cos ϕ meter, amperemeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q).



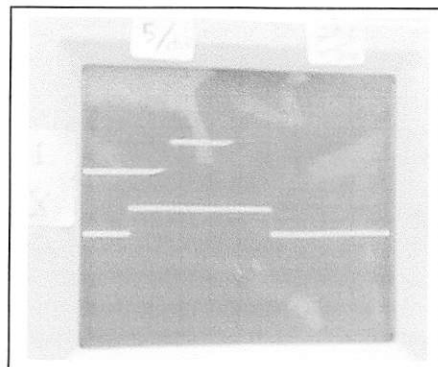
Gambar 4.28. Rangkaian Pengujian dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah dipasangi *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.29. Penunjukan Cos ϕ meter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW setelah dipasangi *electronic power factor controller*.



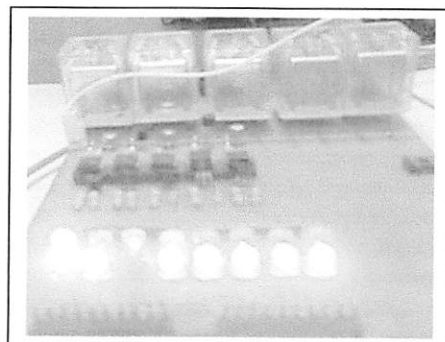
Gambar 4.30. Voltmeter dan Ampermeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan lampu 100W dan paRallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW setelah dipasang Electronic Power Factor Controller.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.31. Tampilan Vin dan Iin Sebagai Inputan Mikrokontroller, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.32. LED paling Atas yang Menyala Mengidenifikasikan Relay yang Off.

Analisa data dari gambar diatas

V = 224V

I = 0,91A

$\varphi = 7^\circ$

S = VI

 = 224 x 0,91

 = 203,84VA

P = VI cos φ

 = 224 x 0,91 x cos 7°

 = 202,32Watt.

Q = VI sin φ

 = 224 x 0.91x sin 7°

 = 24,84VAR

Faktor daya = cos φ

 = cos 7°

 = 0,9925

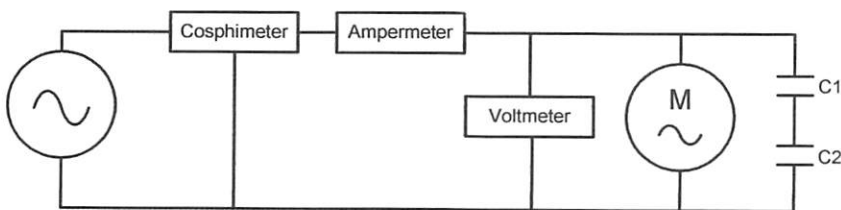
Tabel 4.5 Data Pengujian dengan Beban Kapasitor 25μF yang Seri dengan Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 fasa 1,1KW

No	pengukuran	sebelum	setelah	selisih
-	-	diperbaiki	diperbaiki	-
1	V (Volt)	224	224	0
2	I (Amper)	2,04	0,91	1,13
3	Φ (°)	55	7	48
4	S (VA)	456,96	203,84	253,12
5	P (Watt)	262,1	202,32	59,78
6	Q (VAR)	374,32	24,84	349,48
7	PF	0,5736	0,9925	0,4189

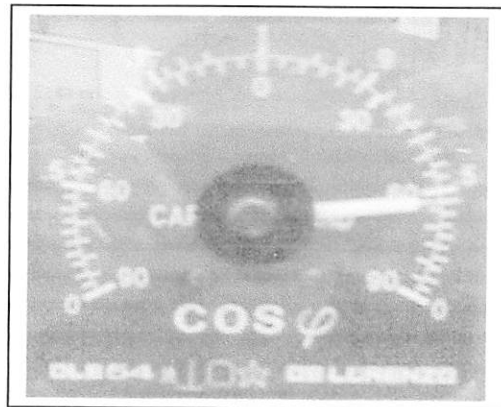
4.6. Pengujian dengan Beban Kapasitor Yang Seri dengan Kapasitor dan Parallel dengan Motor 1 Fasa 1,1 KW

A. sebelum diperbaiki

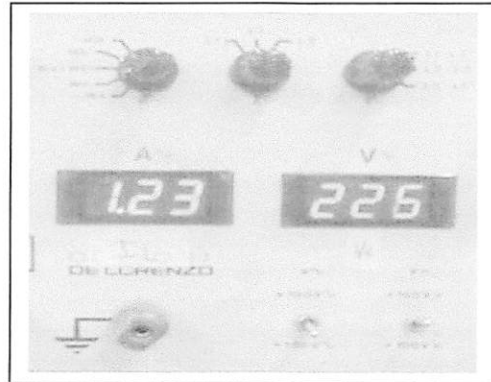
Gambar dibawah ini adalah pengujian dengan beban kapasitor $25\mu\text{F}$ yang seri dengan kapasitor $25\mu\text{F}$ dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu $\cos\phi$ meter, ampermeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q).



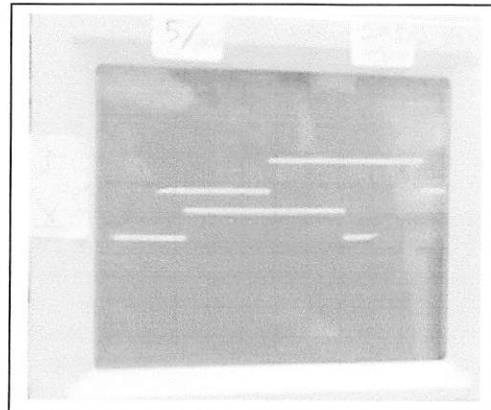
Gambar 4.33. Rangkaian Pengujian dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.34. Penunjukan Cos ϕ meter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.35. Penunjukan Voltmeter dan Ampermeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.36. Tampilan V_{in} dan I_{in} Sebagai Inputan Mikrokontroller, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.

Analisa data dari gambar diatas

$$V = 226\text{V}$$

$$I = 1,23\text{A}$$

$$\varphi = 63^\circ$$

$$S = VI$$

$$= 226 \times 1,23$$

$$= 277,98 \text{ VA}$$

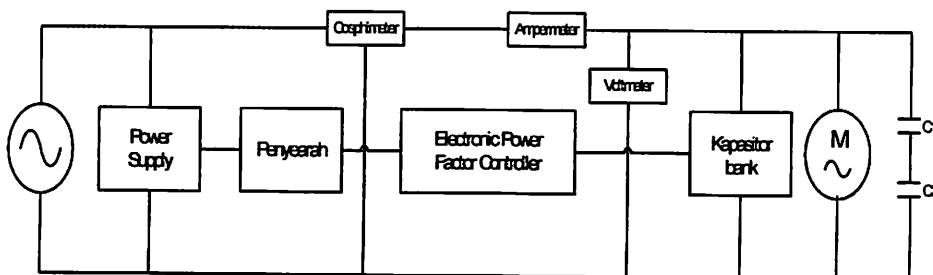
$$\begin{aligned} P &= VI \cos\phi \\ &= 226 \times 1,23 \times \cos 63^\circ \\ &= 126,2 \text{ Watt.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= VI \sin\phi \\ &= 226 \times 1,23 \times \sin 63^\circ \\ &= 247,86 \text{ VAR} \end{aligned}$$

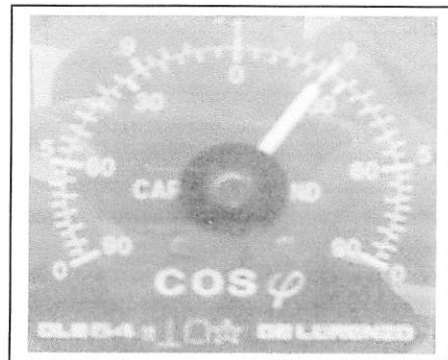
$$\begin{aligned} \text{Faktor daya} &= \cos\phi \\ &= \cos 63^\circ \\ &= 0,4539 \end{aligned}$$

B. Setelah diperbaiki

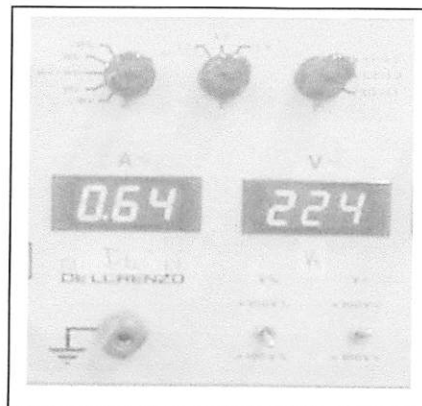
Gambar dibawah ini adalah pengujian dengan beban kapasitor $25\mu\text{F}$ yang seri dengan kapasitor $25\mu\text{F}$ dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu cos ϕ meter, ampermeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q).



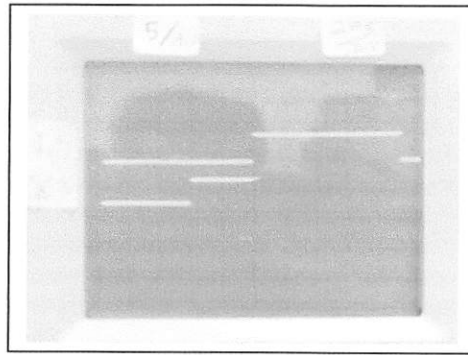
Gambar 4.37. Rangkaian Pengujian dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.38. Penunjukan cosφmeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan Parallel Dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



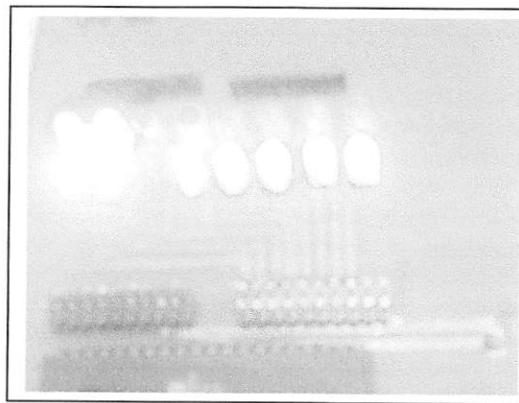
Gambar 4.39. Penunjukan Voltmeter dan Ampermeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.40. Tampilan Vin dan Iin Sebagai Inputan Microkontroller, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$ dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.41. LED Paling Atas yang Menyala Mengidenifikasikan Relay yang OFF.

Analisa data dari gambar diatas

V = 224V

I = 0,64A

ϕ = 25°

S = VI

= $224 \times 0,64$

= 143,36VA

P

= VI cosφ

= 224 x 0,64 x cos 25°

= 129,93Watt.

Q

= VI sinφ

= 224 x 0,64x sin 25°

= 60,59VAR

Faktor daya

= cosφ

= cos 25°

= 0,9063

Tabel 4.6. Data Pengujian dengan Beban Kapasitor 25μF yang Seri dengan Kapasitor 25μF dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW

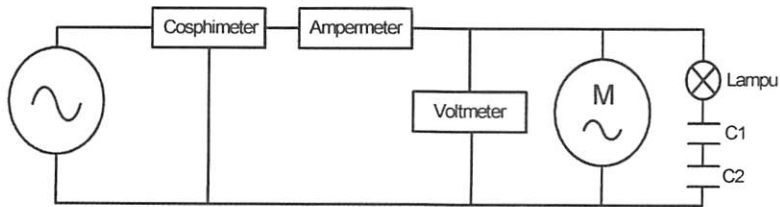
No	pengukuran	sebelum diperbaiki	setelah diperbaiki	selisih
-	-			-
1	V (Volt)	226	224	2
2	I (Amper)	1,23	0,64	0,59
3	Φ(°)	63	55	8
4	S (VA)	277,98	143,36	134,62
5	P (Watt)	126,2	129,93	3,73
6	Q (VAR)	247,86	60,59	187,27
7	PF	0,4539	0,9063	0,4524

4.7. Pengujian dengan Beban Kapasitor yang Seri dengan Kapasitor, Lampu dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1 KW

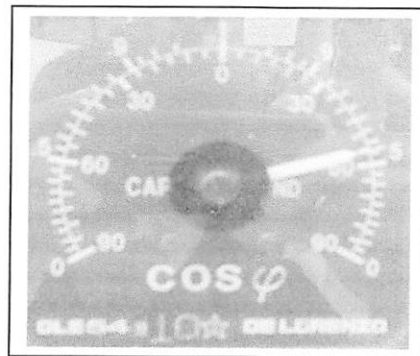
A. Sebelum diperbaiki

Gambar dibawah ini adalah pengujian dengan beban kapasitor 25μF yang seri dengan kapasitor 25μF dan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa 1,1KW setelah diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu cosφmeter,

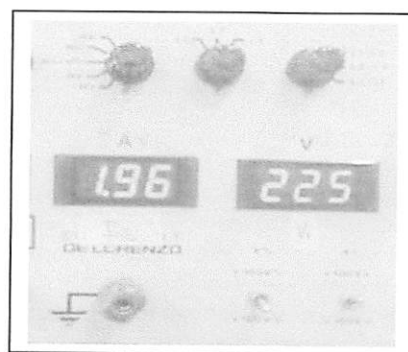
ampermeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q)



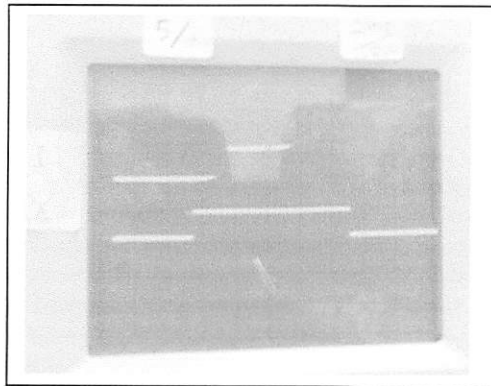
Gambar 4.42. Rangkaian Pengujian dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$, Lampu 100W dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.43. Penunjukan Cosφmeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$, Lampu 100W dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Sebelum dipasang *electronic power factor controller*.



Gambar 4.44. Penunjukan Voltmeter dan Ampermeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$, Lampu 100W dan Paralel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.45. Tampilan Vin dan Iin sebagai Inputan Mikrokontroller, dengan Beban Kapasitor 25 μ F yang Seri dengan Kapasitor 25 μ F, Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa 1,1KW Sebelum dipasang *Electronic Power Factor Controller*.

Analisa data dari gambar diatas

$$V = 225V$$

$$I = 1,96A$$

$$\varphi = 55^\circ$$

$$S = VI$$

$$= 225 \times 1,96$$

$$= 441VA$$

$$P = VI \cos \varphi$$

$$= 225 \times 1,96 \times \cos 55^\circ$$

$$= 252,93Watt.$$

$$Q = VI \sin \varphi$$

$$= 225 \times 1,96 \times \sin 55^\circ$$

$$= 361,25VAR$$

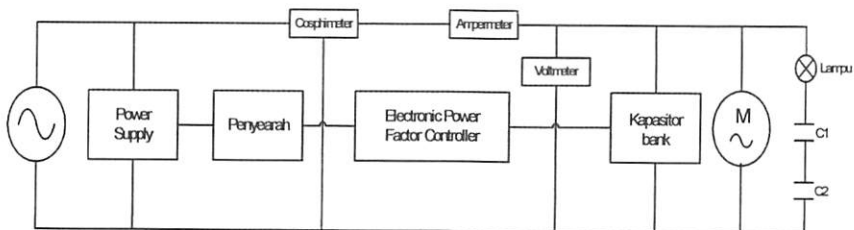
$$\text{Faktor daya} = \cos \varphi$$

$$= \cos 55^\circ$$

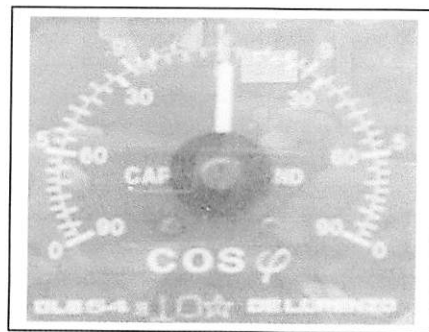
$$= 0,5736$$

B. Setelah diperbaiki

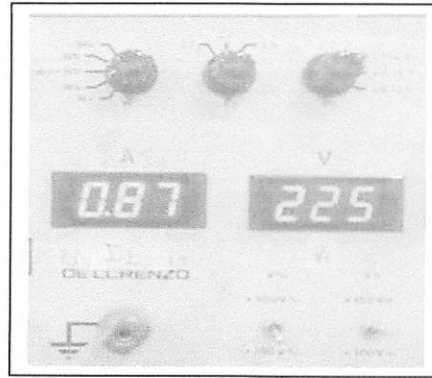
Gambar dibawah ini adalah pengujian dengan beban kapasitor $25\mu\text{F}$ yang seri dengan kapasitor $25\mu\text{F}$ dan lampu 100W dan parallel dengan motor induksi 1 fasa $1,1\text{KW}$ setelah diperbaiki dimana menggunakan tiga alat ukur yaitu $\cos\phi$ meter, amperemeter dan voltmeter. Dengan tiga alat ukur tadi akan didapatkan parameter lainnya seperti daya semu (S), daya nyata (W) dan daya buta (Q)



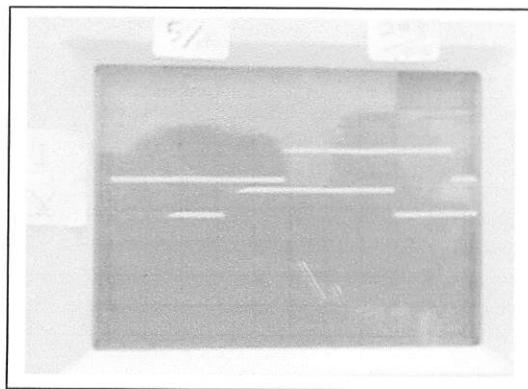
Gambar 4.46. Rangkaian Pengujian dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$, Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa $1,1\text{KW}$ Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.47. Penunjukan $\cos\phi$ meter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$, Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa $1,1\text{KW}$ Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



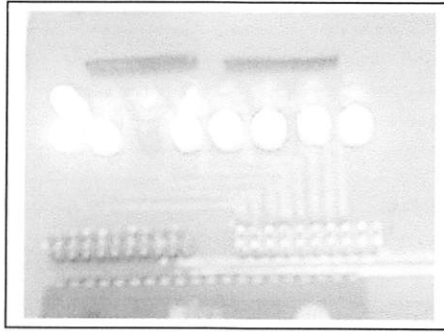
Gambar 4.48. Penunjukan voltmeter dan ampermeter, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang Seri dengan Kapasitor $25\mu\text{F}$, Lampu 100W dan Parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa $1,1\text{KW}$ Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



V/DIV = 5Volt

T/DIV = 2mS

Gambar 4.49. Tampilan V_{in} dan I_{in} sebagai inputan mikrokontroller, dengan Beban Kapasitor $25\mu\text{F}$ yang seri dengan kapasitor $25\mu\text{F}$, lampu 100W dan parallel dengan Motor Induksi 1 Fasa $1,1\text{KW}$ Setelah dipasang *Electronic Power Factor Controller*.



Gambar 4.50. LED Paling atas yang Menyala Terang Menunjukkan Relay yang OFF.

Analisa data dari gambar diatas

$$V = 225V$$

$$I = 0,87A$$

$$\varphi = 1^\circ$$

$$S = VI$$

$$= 225 \times 0,87$$

$$= 195,75VA$$

$$P = VI \cos\varphi$$

$$= 225 \times 0,87 \times \cos 1^\circ$$

$$= 195,72Watt.$$

$$Q = VI \sin\varphi$$

$$= 225 \times 0,87 \times \sin 1^\circ$$

$$= 3,42VAR$$

$$\text{Faktor daya} = \cos\varphi$$

$$= \cos 1^\circ$$

$$= 0,9998$$

Tabel 4.7. Data Pengujian dengan Beban Kapasitor 25μF yang Seri dengan Kapasitor 25μF, Lampu 100W dan Paralel dengan Motor Induksi 1 fasa 1,1KW

No	pengukuran	sebelum diperbaiki	setelah diperbaiki	selisih
1	V (Volt)	225	225	0
2	I (Amper)	1,96	0,87	1,09
3	Φ(°)	55	1	54
4	S (VA)	441	197,75	243,25
5	P (Watt)	252,93	197,72	55,21
6	Q (VAR	361,25	3,42	357,83
7	PF	0,5736	0,9998	-0,4262

Rumus untuk mencari error sebelum dan sesudah diperbaiki

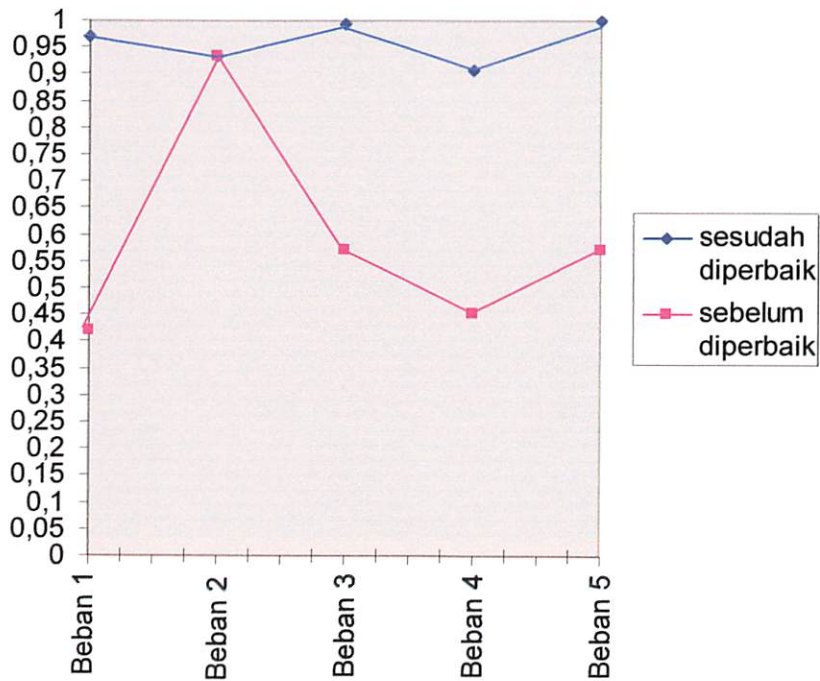
error = 1- faktor daya

Ket : 1 adalah faktor daya ideal

error selisih = error sebelum diperbaiki - error setelah diperbaiki

Tabel 4.8. Pengujian dengan Berbagai Beban.

Faktor Daya	Beban		sebelum diperbaiki	sesudah diperbaiki	error sebelum diperbaiki	error sesudah diperbaiki	selisih error
	1	Motor 1 Fasa	0,4226	0,96959	0,5774	0,03041	0,54699
	2	Motor Kapasitor	0,9336	0,9336	0,0664	0,0664	0
	3	Motor Kapasitor,Lampu	0,5736	0,9925	0,4264	0,0075	0,4189
	4	Motor Dua Kapasitor	0,4539	0,9063	0,5461	0,0937	0,4524
	5	Motor Dua Kapasitor,Lampu	0,5736	0,9998	0,4264	0,0002	0,4262



Grafik 4.1. faktor daya antara sesudah dan sebelum diperbaiki.

Dari grafik diatas pada beban 1 sebelum diperbaiki faktor dayanya 0,4226 dan setelah diperbaikimenjadi 0,96959 dan pada beban 2 terlihat sebelum dan sesudah diperbaiki faktor dayanya sama hal ini dikarenakan faktor dayanya diatas 0,85. dan pada beban 3 sebelum diperbaiki faktor dayanya 0,5736 dan setelah diperbaiki menjadi 0,9925 dan pada beban 4 sebelum diperbaiki faktor dayanya 0,4539 dan setelah diperbaikimenjadi 0,9063 sedangkan pada beban 4 sebelum diperbaiki faktor dayanya 0,5736 dan setelah diperbaikimenjadi 0,9998.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan.

Dari hasil perancangan system didapatkan data dan hasil sebagai berikut;

1. Eror yang terjadi antara perancangan dan pengujian pada rangkaian sensor tegangan dan pengubah sinus ke persegi adalah 12%.
2. Tegangan keluaran CT mempunyai harmonisa dan setelah disaring terlihat hanya frekuensi fundamental saja yang diloloskan ini membuktikan bahwa filter dapat menekan harmonisa.
3. Setelah dipasang alat ini mengalami penurunan arus dikarenakan faktor daya makin baik.

5.2. Saran.

Metode perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank bukanlah satu-satunya cara yang bisa dipakai dan pembaca masih bisa mengembangkannya menggunakan *Thyristor controlled series capacitor (TCSC)*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wildi, Theodore. "Electrical Machines, Drives, and Power Systems". New Jersey:Prentice Hall,2002.
2. WWW.Texas_Instruments.com
3. Datasheet AT89S51.
4. Prestiliano,Jasson, "Strategi Bahasa Assembler"Gava Media:Yogyakarta 2005.
5. Warsito.S,"Wademikum Elelectronika".Gramedia:Jakarta,2001.

LAMPIRAN



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1)
yang diselenggarakan pada :

Hari : Senin
Tanggal : 03 September 2007
Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Mustafa Kamal
2. NIM : 02.12.029
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : Perencanaan dan Pembuatan *Electronic Power Factor Controller*.

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Latar belakang diperbaiki, rumusan masalah kata tanya	b
2.	Keterangan gambar 1 spasi	b
3.	Perbaiki keterangan gambar.	b
4.	Abstrak diperbaiki.	b

Anggota Penguji
Penguji Pertama

Bambang Prio Hartono, ST, MT

Dosen Pembimbing I

Ir. Widodo Pudji M., MT

Dosen Pembimbing II

Sotyohadi, ST, MSc



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Senin
Tanggal : 03 September 2007
Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Mustafa Kamal
2. NIM : 02.12.029
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : Perencanaan dan Pembuatan *Electronic Power Factor Controller*.

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Tambahkan teori pemasangan Kapasitor.	Alh
2.	Batasan Masalah.	Alh
3.	Kesimpulanya dirubah disinkronkan dengan rumusan masalah.	Alh
4.	Teori tentang parallel kapasitor ditambah.	Alh
5.	Apakah tidak sebaiknya pengujian lebih dari satu motor ?	Alh
6.	Rumusan Masalah ditanyakan .	Alh
	Faktor daya yang diinginkan berapa ?	

Anggota Penguji
Penguji Kedua


Ir. Taufik Hidayat, MT

Dosen Pembimbing I


Ir. Widodo Pudji M., MT

Dosen Pembimbing II


Sotyonadi, ST., MSc



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : Mustafa Kamal
2. NIM : 02.12.029
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **PERENCANAAN DAN PEMBUATAN
ELECTRONIC POWER FACTOR CONTROLLER**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Senin
Tanggal : 3 September 2007
Dengan Nilai : 84,45 (A) *Buy*



Panitia Ujian Skripsi

Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Bambang Prio Hartono, ST, MT
Penguji Pertama

Ir. Taufik Hidayat, MT
Penguji Kedua



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUSTAFA KAMAL
Nim : 02.12.029
Masa Bimbingan : 18 Juni 2007 s/d 18 Desember 2007
Judul Skripsi : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ELETRONIC POWER FACTOR CONTROLLER

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	28/09'07	Konsultasi Bab I, dan Bab II	
2.	4/06'07	Acc Bab I dan Bab II	
3.	11/07'07	Konsultasi Bab III	
4.	18/07'07	Konsultasi Perangkat lunak mikrokontroler	
5.	19/07'07	Acc Bab III	
6.	31/07'07	Konsultasi Bab IV dan V	
7.	2/08'07	Revisi Bab IV dan V	
8.	4/08'07	Konsultasi hasil revisi bab IV dan V	
9.	4/08'07	Konsultasi makalah seminar	
10.	7/08'07	Acc bab IV dan V + Acc makalah seminar	

Malang,
Dosen Pembimbing,

Ir. Widodo Pudji Mulianto, MT
Nip. P. 1028700171

Form.S-4b

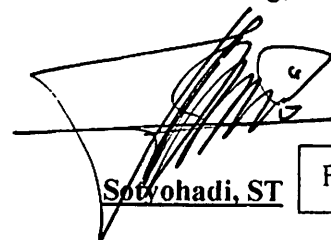


FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUSTAFA KAMAL
Nim : 02.12.029
Masa Bimbingan : 18 Juni 2007 s/d 18 Desember 2007
Judul Skripsi : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ELETRONIC POWER FACTOR CONTROLLER

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	6/8 '07	Bab I, II, III, IV (✓ diperbaiki kesimpulan)	fadi
2.	6/8 '07	Mukalah seminar (II)	fadi
3.	7/8 '07	Kesimpulan OK	fadi
4.	13/8 '07	Penulisan jurnal + Abstrak OK	fadi
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 28 - 8 - 2007
Dosen Pembimbing,


Sotwohadi, ST

Form.S-4b

Sumber : Perancangan

LISTING PROGRAM

;Name Prog : kamal.asm
;judul : Perencanaan dan pembuatan electronic power factor controller

```
tegangan    equ    p3.0
arus        equ    p3.1
lampuM      equ    p0
lampuH      equ    p2
datcon      equ    r6
dlay1       equ    r0
dlay2       equ    r1
dlay3       equ    r2
dl1         equ    r3
dl2         equ    r4
Terkurang   equ    30H
Pengurang   equ    38H
Hasil       equ    40h
```

```
org 0
```

```
mulai: mov  datcon,#0
      mov  lampuH,datcon
```

```
tim:   mov  tmod,#10H
      mov  tl1,#0
      mov  th1,#0
```

```
ceklam:
      jb   tegangan,$
      jnb  tegangan,$
      setb tr1
```

```
      jb   arus,$
```



```

jnb    arus,$
clr    tr1

mov     pengurang+0,tl1
mov     pengurang+1,th1
mov     terkurang+1,#0aH
mov     terkurang+0,#0d9H

```

kurang:

```

clr     c
mov     a      ,terkurang+0
subb    a      ,pengurang+0
mov     hasil+0    ,a

mov     a      ,terkurang+1
subb    a      ,pengurang+1
mov     hasil+1    ,a

```

;cek erorr

```

jnc     indicatory

```

;pendeteksian mendahului atau ketinggalan

deteksi:;-----deteksi

```

jb      tegangan,$
jnb     tegangan,$

```

```

jb      arus,MENDAHULUI
jnb     arus,ketinggalan

```

```

jmp     tim

```

;-----end deteksi

;-----start solusi

;-----penggeseran fasa arus

ketinggalan:

```

setb    c
mov     a,daticon
rlc     a
MOV     DATCON,A
mov     lampuH,a
jmp     indicatorK

```

mendahului:

```

clr     c

```

```

mov a,datcon
rrc a
mov datcon,A
mov lampuH,a

```

indicatorM:

```

mov lampuM,#2
call delay
jmp tim

```

indicatorK:

```

mov lampuM,#1
call delay
jmp tim

```

indicatorY:

```

mov lampuM,#4
call delay
jmp tim

```

;-----end indikator

```

delay: mov dlay1,#0
      mov dlay2,#0
      mov dlay3,#07H

```

delay1:

```

      djnz dlay1,$
      djnz dlay2,delay1
      djnz dlay3,delay1
      ret
end

```

Sumber : Hasil Perancangan software

00B0	tegangan	equ	p3.0
00B1	arus	equ	p3.1
0080	lampuM	equ	p0
00A0	lampuH	equ	p2
8006	datcon	equ	r6
8000	dlay1	equ	r0
8001	dlay2	equ	r1
8002	dlay3	equ	r2
8003	dl1	equ	r3
8004	dl2	equ	r4
0030	Terkurang	equ	30H
0038	Pengurang	equ	38H
0040	Hasil	equ	40h
0000		org	0
0000 7E00	mulai:	mov	datcon,#0
0002 8EA0		mov	lampuH,datcon
0004 758910	tim:	mov	tmod,#10H
0007 758B00		mov	tl1,#0
000A 758D00		mov	th1,#0
000D	ceklam:		
000D 20B0FD		jb	tegangan,\$
0010 30B0FD		jnb	tegangan,\$
0013 D28E		setb	tr1
0015 20B1FD		jb	arus,\$
0018 30B1FD		jnb	arus,\$
001B C28E		clr	tr1
001D 858B38		mov	pengurang+0,tl1
0020 858D39		mov	pengurang+1,th1
0023 7530D9		mov	terkurang+0,#074H
0026 75310A		mov	terkurang+1,#0dH
0029	kurang:		
0029 C3		clr	c
002A E530		mov	a ,terkurang+0

```

002C 9538          subb    a      ,pengurang+0
002E F540          mov     hasil+0 ,a

0030 E531          mov     a      ,terkurang+1
0032 9539          subb    a      ,pengurang+1
0034 F541          mov     hasil+1 ,a

```

```

;cek erorr
0036 5030          jnc     indicatory

```

```

;pendeteksian mendahului atau
ketinggalan
0038          deteksi:;-----deteksi
0038 20B0FD      jb      tegangan,$
003B 30B0FD      jnb     tegangan,$

003E 20B10F      jb      arus,MENDAHULUI

```

LEARN COM 8051 CROSS ASSEMBLER VER 3.8
PAGE 2

```

0041 30B103      jnb     arus,ketinggalan
0044 020004      jmp     tim
;-----end deteksi

```

```

;-----start
solusi
;-----penggeseran
fasa arus

```

```

0047          ketinggalan:
0047 D3          setb    c
0048 EE          mov     a,daticon
0049 33          rlc     a
004A FE          MOV     DATCON,A
004B F5A0        mov     lampuH,a
004D 02005F      jmp     indicatorok
0050          mendahului:
0050 C3          clr     c

```

```

0051 EE          mov     a,datcon
0052 13          rrc     a
0053 FE          mov     datcon,A
0054 F5A0        mov     lampuH,a

```

```

0056            indicatorm:
0056 758002      mov     lampuM,#2
0059 120071      call    delay
005C 020004      jmp     tim

```

```

005F            indicatork:
005F 758001      mov     lampuM,#1
0062 120071      call    delay
0065 020004      jmp     tim

```

```

0068            indicatorY:
0068 758004      mov     lampuM,#4
006B 120071      call    delay
006E 020004      jmp     tim

```

;-----end

```

indikator
0071 7800      delay:  mov     dlay1,#0
0073 7900      mov     dlay2,#0
0075 7A07      mov     dlay3,#07H
0077          delay1:
0077 D8FE      djnz     dlay1,$
0079 D9FC      djnz     dlay2,delay1
007B DAFA      djnz     dlay3,delay1
007D 22        ret
0000          end

```

* * * * *

00B1 = ARUS	000D = CEKLAM	8006 =
DATCON		
0071 = DELAY	0077 = DELAY1	0038 =
DETEKSI		
8003 = DL1	8004 = DL2	8000 =
DLAY1		
8001 = DLAY2	8002 = DLAY3	0040 =
HASIL		
005F = INDICATORK	0056 = INDICATORM	0068 =
INDICATORY		
0047 = KETINGGALAN	0029 = KURANG	00A0 =
LAMPUH		
0080 = LAMPUM	0050 = MENDAHULUI	0000 =
MULAI		
0080 = P0	00A0 = P2	00B0 = P3
0038 = PENGURANG	00B0 = TEGANGAN	0030 =
TERKURANG		
008D = TH1	0004 = TIM	008B =
TL1		
0089 = TMOD	008E = TR1	

TOTAL SYMBOLS DEFINED = 32

NO ERROR(S) FOUND
END OF ASSEMBLY

07-05-19:7

06:39:11

[illegible]

Features

- Compatible with MCS-51® Products
- 4K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
- Endurance: 1000 Write/Erase Cycles
- V to 5.5V Operating Range
- Typically Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Two-Level Program Memory Lock
- 8 x 8-bit Internal RAM
- 8 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Five Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Two Data Pointers
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)

Description

AT89S51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 4K bytes of in-system programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with in-system programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S51 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

AT89S51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of internal RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, two 16-bit timer/counters, a five-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and support circuitry. In addition, the AT89S51 is designed with static logic for operation from zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM content but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next external reset or hardware reset.



8-bit Microcontroller with 4K Bytes In-System Programmable Flash

AT89S51

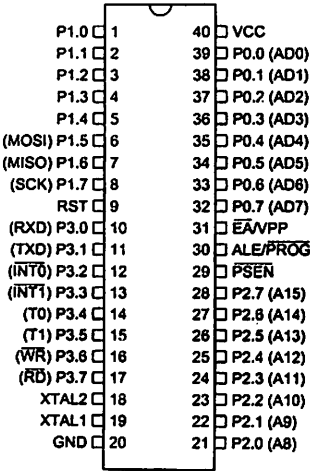
Rev. 2487A-10/01



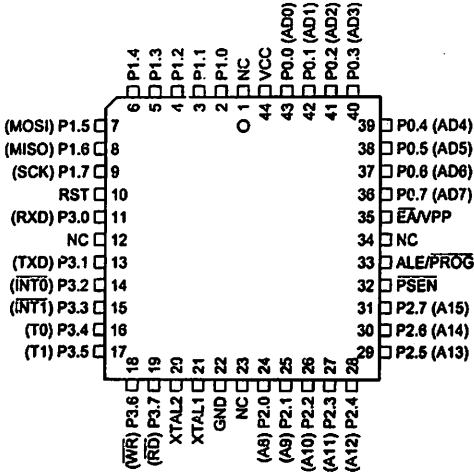


Configurations

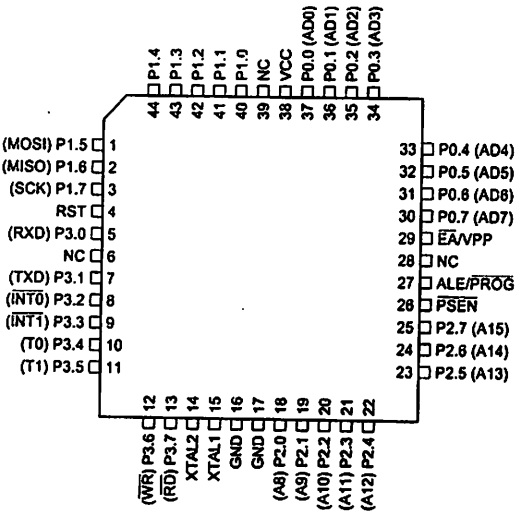
PDIP



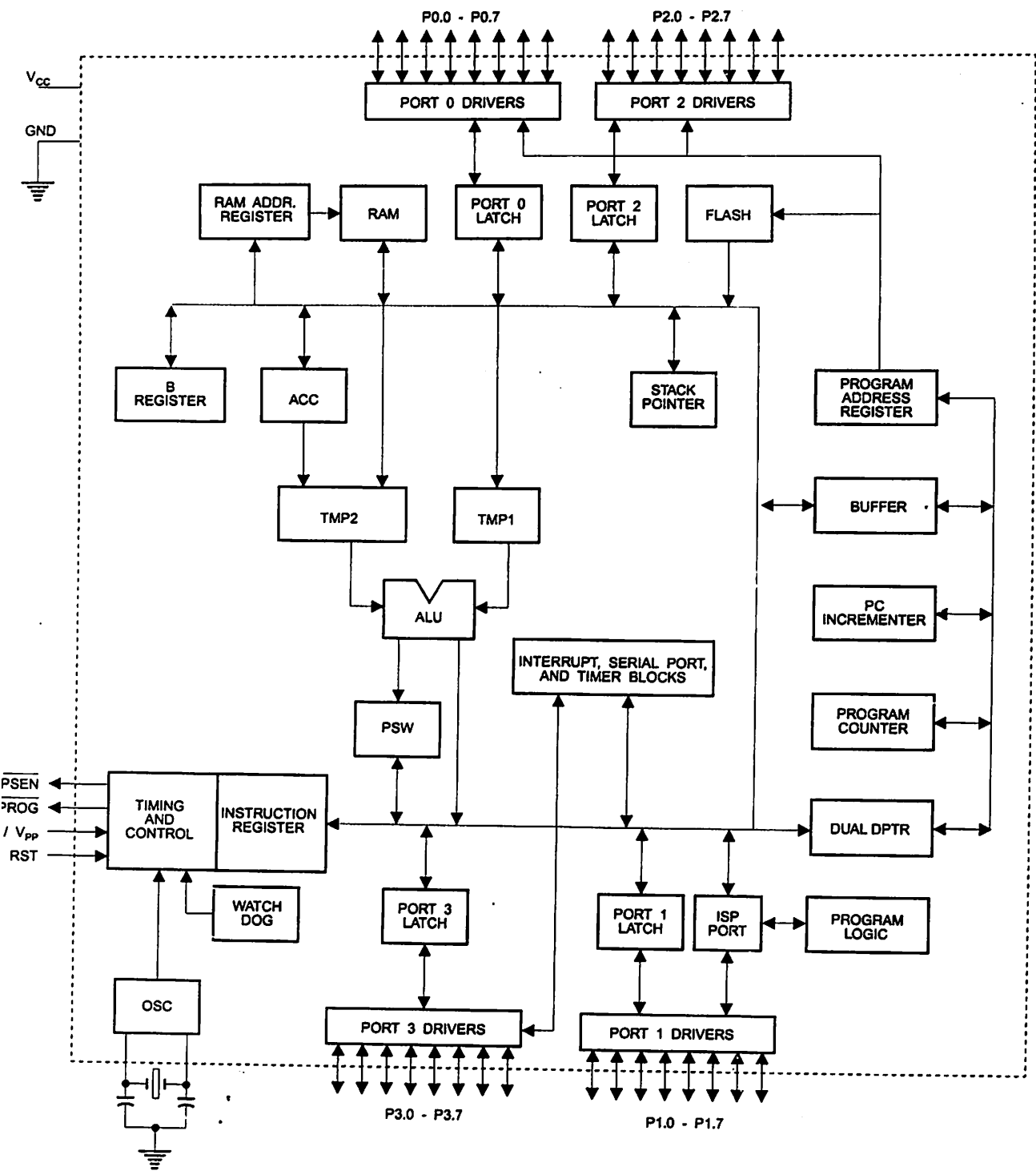
PLCC



TQFP



ck Diagram





Description

Supply voltage.

Ground.

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pull-ups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. **External pull-ups are required during program verification.**

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.5	MOSI (used for In-System Programming)
P1.6	MISO (used for In-System Programming)
P1.7	SCK (used for In-System Programming)

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pull-ups.

Port 3 receives some control signals for Flash programming and verification.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S51, as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. This pin drives High for 98 oscillator periods after the Watchdog times out. The DISRTO bit in SFR AUXR (address 8EH) can be used to disable this feature. In the default state of bit DISRTO, the RESET HIGH out feature is enabled.

/PROG

Address Latch Enable (ALE) is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{\text{PROG}}$) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

N

Program Store Enable ($\overline{\text{PSEN}}$) is the read strobe to external program memory.

When the AT89S51 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

/PP

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming.

.1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

.2

Output from the inverting oscillator amplifier





Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

Table 1. AT89S51 SFR Map and Reset Values

FFH								
FEH	B 00000000							0F7H
FDH								0EFH
FDH	ACC 00000000							0E7H
FDH								0DFH
FDH	PSW 00000000							0D7H
FDH								0CFH
FDH								0C7H
FDH	IP XX000000							0BFH
FDH	P3 11111111							0B7H
FDH	IE 0X000000							0AFH
FDH	P2 11111111		AUXR1 XXXXXXXX0				WDTRST XXXXXXXXX	0A7H
FDH	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXXX						9FH
FDH	P1 11111111							97H
FDH	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000	AUXR XXX00XX0	8FH
FDH	P0 11111111	SP 00000111	DP0L 00000000	DP0H 00000000	DP1L 00000000	DP1H 00000000		PCON 0XXX0000 87H

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Interrupt Registers: The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the five interrupt sources in the IP register.

Table 2. AUXR: Auxiliary Register

AUXR

Address = 8EH

Reset Value = XXX00XX0B

Not Bit
Addressable

	-	-	-	WDIDLE	DISRTO	-	-	DISALE
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0

-

Reserved for future expansion

DISALE

Disable/Enable ALE

DISALE

Operating Mode

0

ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency

1

ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction

DISRTO

Disable/Enable Reset out

DISRTO

0

Reset pin is driven High after WDT times out

1

Reset pin is input only

WDIDLE

Disable/Enable WDT in IDLE mode

WDIDLE

0

WDT continues to count in IDLE mode

1

WDT halts counting in IDLE mode

Dual Data Pointer Registers: To facilitate accessing both internal and external data memory, two banks of 16-bit Data Pointer Registers are provided: DP0 at SFR address locations 82H-83H and DP1 at 84H-85H. Bit DPS = 0 in SFR AUXR1 selects DP0 and DPS = 1 selects DP1. The user should always initialize the DPS bit to the appropriate value before accessing the respective Data Pointer Register.





Power Off Flag: The Power Off Flag (POF) is located at bit 4 (PCON.4) in the PCON SFR. POF is set to "1" during power up. It can be set and rest under software control and is not affected by reset.

Table 3. AUXR1: Auxiliary Register 1

AUXR1							
Address = A2H							
Reset Value = XXXXXX0B							
Not Bit Addressable							
Bit	-	-	-	-	-	-	DPS
	7	6	5	4	3	2	0
-	Reserved for future expansion						
DPS	Data Pointer Register Select						
	DPS						
	0	Selects DPTR Registers DP0L, DP0H					
	1	Selects DPTR Registers DP1L, DP1H					

Memory
Organization

MCS-51 devices have a separate address space for Program and Data Memory. Up to 64K bytes each of external Program and Data Memory can be addressed.

Program Memory

If the \overline{EA} pin is connected to GND, all program fetches are directed to external memory.

On the AT89S51, if \overline{EA} is connected to V_{CC} , program fetches to addresses 0000H through FFFH are directed to internal memory and fetches to addresses 1000H through FFFFH are directed to external memory.

Memory

The AT89S51 implements 128 bytes of on-chip RAM. The 128 bytes are accessible via direct and indirect addressing modes. Stack operations are examples of indirect addressing, so the 128 bytes of data RAM are available as stack space.

Watchdog
Timer
Enabled with
Reset-out)

The WDT is intended as a recovery method in situations where the CPU may be subjected to software upsets. The WDT consists of a 14-bit counter and the Watchdog Timer Reset (WDTRST) SFR. The WDT is defaulted to disable from exiting reset. To enable the WDT, a user must write 01EH and 0E1H in sequence to the WDTRST register (SFR location 0A6H). When the WDT is enabled, it will increment every machine cycle while the oscillator is running. The WDT timeout period is dependent on the external clock frequency. There is no way to disable the WDT except through reset (either hardware reset or WDT overflow reset). When WDT overflows, it will drive an output RESET HIGH pulse at the RST pin.

Using the WDT

To enable the WDT, a user must write 01EH and 0E1H in sequence to the WDTRST register (SFR location 0A6H). When the WDT is enabled, the user needs to service it by writing 01EH and 0E1H to WDTRST to avoid a WDT overflow. The 14-bit counter overflows when it reaches 16383 (3FFFH), and this will reset the device. When the WDT is enabled, it will increment every machine cycle while the oscillator is running. This means the user must reset the WDT at least every 16383 machine cycles. To reset the WDT the user must write 01EH and 0E1H to WDTRST. WDTRST is a write-only register. The WDT counter cannot be read or written. When WDT overflows, it will generate an output RESET pulse at the RST pin. The RESET pulse duration is 98xTOSC, where TOSC=1/FOSC. To make the best use of the WDT, it

AT89S51

should be serviced in those sections of code that will periodically be executed within the time required to prevent a WDT reset.

T During ver-down Idle

In Power-down mode the oscillator stops, which means the WDT also stops. While in Power-down mode, the user does not need to service the WDT. There are two methods of exiting Power-down mode: by a hardware reset or via a level-activated external interrupt, which is enabled prior to entering Power-down mode. When Power-down is exited with hardware reset, servicing the WDT should occur as it normally does whenever the AT89S51 is reset. Exiting Power-down with an interrupt is significantly different. The interrupt is held low long enough for the oscillator to stabilize. When the interrupt is brought high, the interrupt is serviced. To prevent the WDT from resetting the device while the interrupt pin is held low, the WDT is not started until the interrupt is pulled high. It is suggested that the WDT be reset during the interrupt service for the interrupt used to exit Power-down mode.

To ensure that the WDT does not overflow within a few states of exiting Power-down, it is best to reset the WDT just before entering Power-down mode.

Before going into the IDLE mode, the WDIDLE bit in SFR AUXR is used to determine whether the WDT continues to count if enabled. The WDT keeps counting during IDLE (WDIDLE bit = 0) as the default state. To prevent the WDT from resetting the AT89S51 while in IDLE mode, the user should always set up a timer that will periodically exit IDLE, service the WDT, and reenter IDLE mode.

With WDIDLE bit enabled, the WDT will stop to count in IDLE mode and resumes the count upon exit from IDLE.

RT

The UART in the AT89S51 operates the same way as the UART in the AT89C51. For further information on the UART operation, refer to the ATMEL Web site (<http://www.atmel.com>). From the home page, select 'Products', then '8051-Architecture Flash Microcontroller', then 'Product Overview'.

er 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89S51 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51. For further information on the timers' operation, refer to the ATMEL Web site (<http://www.atmel.com>). From the home page, select 'Products', then '8051-Architecture Flash Microcontroller', then 'Product Overview'.

errupts

The AT89S51 has a total of five interrupt vectors: two external interrupts ($\overline{INT0}$ and $\overline{INT1}$), two timer interrupts (Timers 0 and 1), and the serial port interrupt. These interrupts are all shown in Figure 1.

Each of these interrupt sources can be individually enabled or disabled by setting or clearing a bit in Special Function Register IE. IE also contains a global disable bit, EA, which disables all interrupts at once.

Note that Table 4 shows that bit position IE.6 is unimplemented. In the AT89S51, bit position IE.5 is also unimplemented. User software should not write 1s to these bit positions, since they may be used in future AT89 products.

The Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at S5P2 of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle



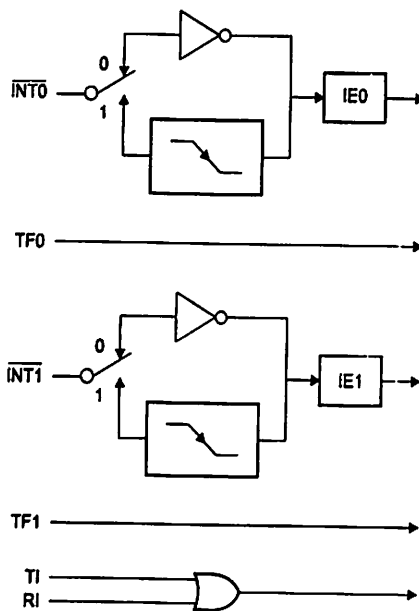
Table 4. Interrupt Enable (IE) Register

(MSB)				(LSB)			
EA	-	-	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
Enable Bit = 1 enables the interrupt.							
Enable Bit = 0 disables the interrupt.							

Symbol	Position	Function
EA	IE.7	Disables all interrupts. If EA = 0, no interrupt is acknowledged. If EA = 1, each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
-	IE.6	Reserved
-	IE.5	Reserved
ES	IE.4	Serial Port interrupt enable bit
ET1	IE.3	Timer 1 interrupt enable bit
EX1	IE.2	External interrupt 1 enable bit
ET0	IE.1	Timer 0 interrupt enable bit
EX0	IE.0	External interrupt 0 enable bit

User software should never write 1s to reserved bits, because they may be used in future AT89 products.

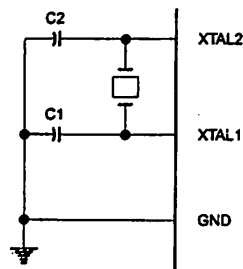
Figure 1. Interrupt Sources



Oscillator Characteristics

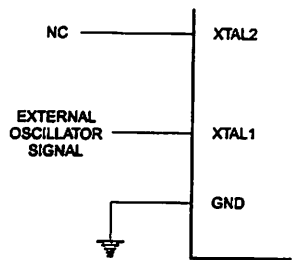
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 2. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 3. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 2. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals = 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 3. External Clock Drive Configuration



Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special function registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

Note that when idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when idle mode is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes idle mode should not write to a port pin or to external memory.

Power-down

In the Power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes Power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the Power-down mode is terminated. Exit from Power-down mode can be initiated either by a hardware reset or by activation of an enabled external interrupt into INT0 or INT1. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.





Table 5. Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Program Memory Lock

The AT89S51 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the following table.

Table 6. Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOV _C instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, EA is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash memory is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, but verify is also disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, but external execution is also disabled

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the EA pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value and holds that value until reset is activated. The latched value of EA must agree with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Programming Flash – Parallel Mode

The AT89S51 is shipped with the on-chip Flash memory array ready to be programmed. The programming interface needs a high-voltage (12-volt) program enable signal and is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89S51 code memory array is programmed byte-by-byte.

Programming Algorithm: Before programming the AT89S51, the address, data, and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 13 and 14. To program the AT89S51, take the following steps:

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise EA/V_{pp} to 12V.
5. Pulse ALE/PROG once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 50 μs. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89S51 features Data Polling to indicate the end of a byte write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P0.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ $\overline{\text{BSY}}$ output signal. P3.0 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.0 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The status of the individual lock bits can be verified directly by reading them back.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 100H, and 200H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel

(100H) = 51H indicates 89S51

(200H) = 06H

Chip Erase: In the parallel programming mode, a chip erase operation is initiated by using the proper combination of control signals and by pulsing ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ low for a duration of 200 ns - 500 ns.

In the serial programming mode, a chip erase operation is initiated by issuing the Chip Erase instruction. In this mode, chip erase is self-timed and takes about 500 ms.

During chip erase, a serial read from any address location will return 00H at the data output.

Programming the Flash – Serial Mode

The Code memory array can be programmed using the serial ISP interface while RST is pulled to V_{CC} . The serial interface consists of pins SCK, MOSI (input) and MISO (output). After RST is set high, the Programming Enable instruction needs to be executed first before other operations can be executed. Before a reprogramming sequence can occur, a Chip Erase operation is required.

The Chip Erase operation turns the content of every memory location in the Code array into FFH.

Either an external system clock can be supplied at pin XTAL1 or a crystal needs to be connected across pins XTAL1 and XTAL2. The maximum serial clock (SCK) frequency should be less than 1/16 of the crystal frequency. With a 33 MHz oscillator clock, the maximum SCK frequency is 2 MHz.

Serial Programming Algorithm

To program and verify the AT89S51 in the serial programming mode, the following sequence is recommended:

1. Power-up sequence:
Apply power between VCC and GND pins.
Set RST pin to "H".
If a crystal is not connected across pins XTAL1 and XTAL2, apply a 3 MHz to 33 MHz clock to XTAL1 pin and wait for at least 10 milliseconds.
2. Enable serial programming by sending the Programming Enable serial instruction to pin MOSI/P1.5. The frequency of the shift clock supplied at pin SCK/P1.7 needs to be less than the CPU clock at XTAL1 divided by 16.
3. The Code array is programmed one byte at a time in either the Byte or Page mode. The write cycle is self-timed and typically takes less than 0.5 ms at 5V.
4. Any memory location can be verified by using the Read instruction that returns the content at the selected address at serial output MISO/P1.6.
5. At the end of a programming session, RST can be set low to commence normal device operation.



Power-off sequence (if needed):
 Set XTAL1 to "L" (if a crystal is not used).
 Set RST to "L".
 Turn V_{CC} power off.

Data Polling: The Data Polling feature is also available in the serial mode. In this mode, during a write cycle an attempted read of the last byte written will result in the complement of the MSB of the serial output byte on MISO.

Serial
Programming
Instruction Set






The Instruction Set for Serial Programming follows a 4-byte protocol and is shown in Table 8 on page 18.

Programming
Interface –
Parallel Mode

Every code byte in the Flash array can be programmed by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Table 7. Flash Programming Modes

Mode	V _{CC}	RST	PSEN	ALE/ PROG	EA/ V _{PP}	P2.6	P2.7	P3.3	P3.6	P3.7	P0.7-0 Data	P2.3-0	P1.7-0
												Address	
Write Code Data	5V	H	L	 ⁽²⁾	12V	L	H	H	H	H	D _{IN}	A11-8	A7-0
Read Code Data	5V	H	L	H	H	L	L	L	H	H	D _{OUT}	A11-8	A7-0
Write Lock Bit 1	5V	H	L	 ⁽³⁾	12V	H	H	H	H	H	X	X	X
Write Lock Bit 2	5V	H	L	 ⁽³⁾	12V	H	H	H	L	L	X	X	X
Write Lock Bit 3	5V	H	L	 ⁽³⁾	12V	H	L	H	H	L	X	X	X
Read Lock Bits 1, 2, 3	5V	H	L	H	H	H	H	L	H	L	P0.2, P0.3, P0.4	X	X
Chip Erase	5V	H	L	 ⁽¹⁾	12V	H	L	H	L	L	X	X	X
Read Atmel ID	5V	H	L	H	H	L	L	L	L	L	1EH	0000	00H
Read Device ID	5V	H	L	H	H	L	L	L	L	L	51H	0001	00H
Read Device ID	5V	H	L	H	H	L	L	L	L	L	06H	0010	00H

- Notes:
- Each PROG pulse is 200 ns - 500 ns for Chip Erase.
 - Each PROG pulse is 200 ns - 500 ns for Write Code Data.
 - Each PROG pulse is 200 ns - 500 ns for Write Lock Bits.
 - RDY/BSY signal is output on P3.0 during programming.
 - X = don't care.

Figure 4. Programming the Flash Memory (Parallel Mode)

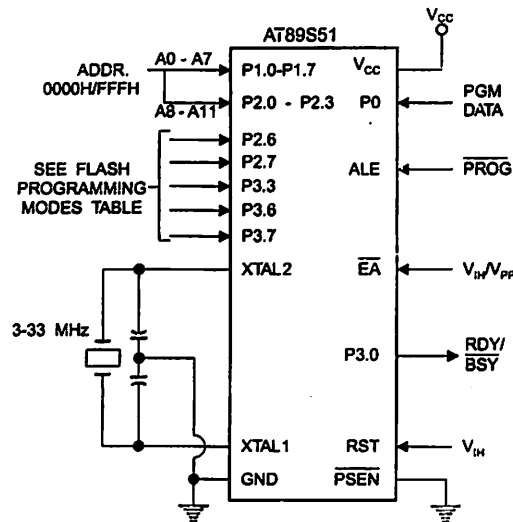
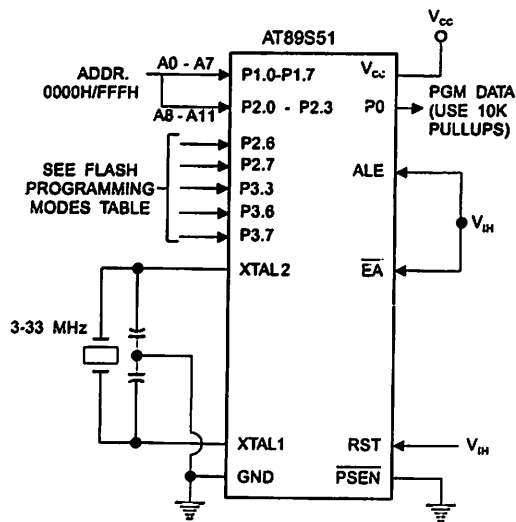


Figure 5. Verifying the Flash Memory (Parallel Mode)



Flash Programming and Verification Characteristics (Parallel Mode)

= 20°C to 30°C, V_{CC} = 4.5 to 5.5V

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V _{PP}	Programming Supply Voltage	11.5	12.5	V
I _{PP}	Programming Supply Current		10	mA
I _{CC}	V _{CC} Supply Current		30	mA
f _{CLCL}	Oscillator Frequency	3	33	MHz
t _{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{HAX}	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{HDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{ESH}	P2.7 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V _{PP}	48t _{CLCL}		
t _{HGL}	V _{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t _{HSL}	V _{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t _{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	0.2	1	μs
t _{QV}	Address to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{HQZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	48t _{CLCL}	
t _{HBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to BUSY Low		1.0	μs
t _{WC}	Byte Write Cycle Time		50	μs

Figure 6. Flash Programming and Verification Waveforms – Parallel Mode

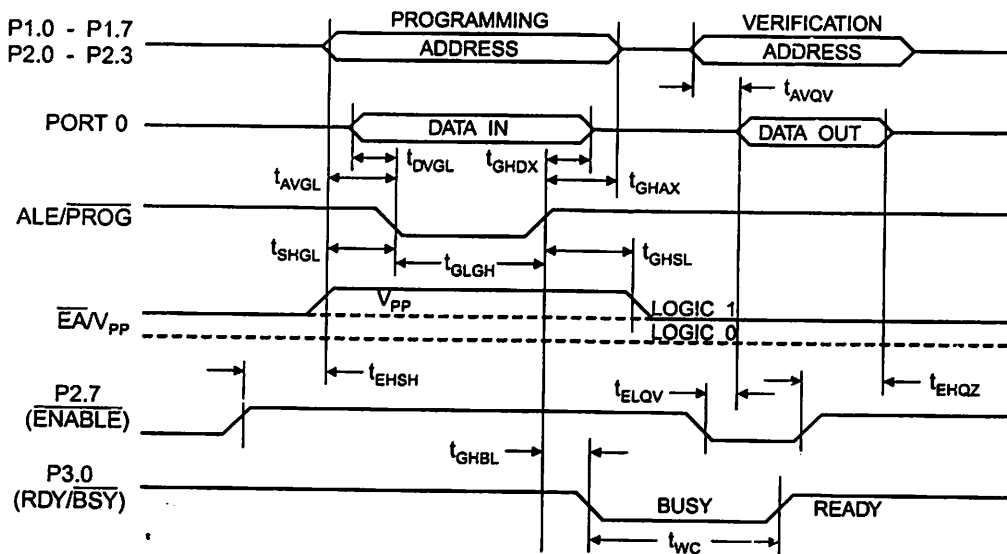
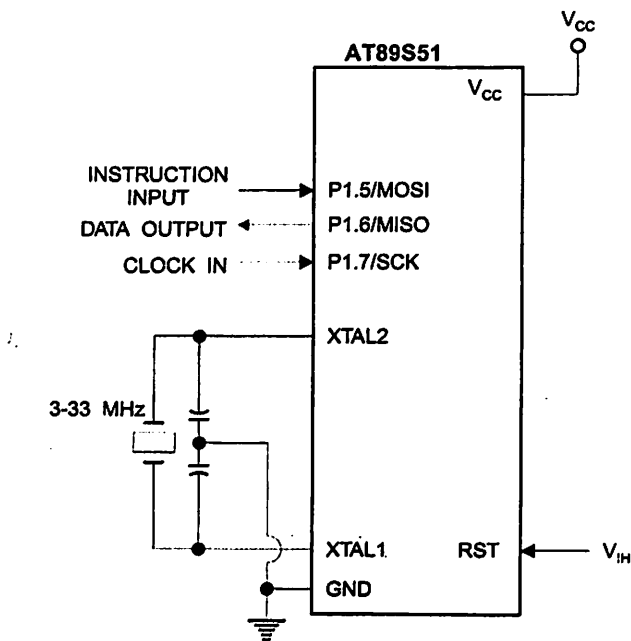


Figure 7. Flash Memory Serial Downloading



Flash Programming and Verification Waveforms – Serial Mode

Figure 8. Serial Programming Waveforms

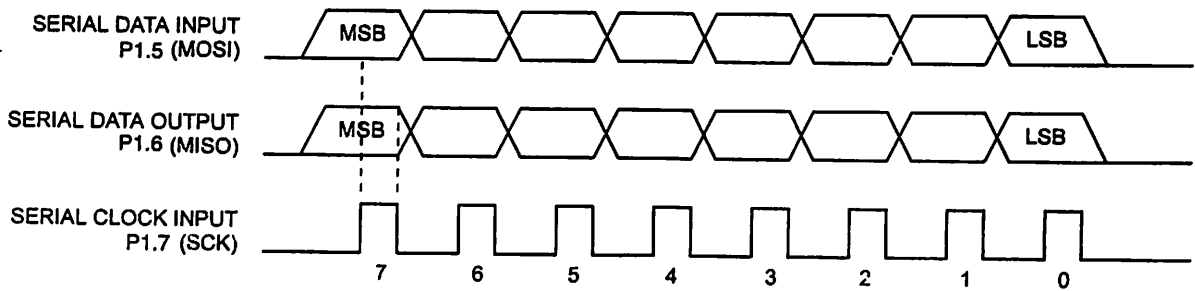


Table 8. Serial Programming Instruction Set

Instruction	Instruction Format				Operation
	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	
Programming Enable	1010 1100	0101 0011	xxxx xxxx	xxxx xxxx 0110 1001 (Output)	Enable Serial Programming while RST is high
Chip Erase	1010 1100	100x xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	Chip Erase Flash memory array
Read Program Memory (Byte Mode)	0010 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	Read data from Program memory in the byte mode
Write Program Memory (Byte Mode)	0100 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	Write data to Program memory in the byte mode
Write Lock Bits ⁽²⁾	1010 1100	1110 00 B1 B2	xxxx xxxx	xxxx xxxx	Write Lock bits. See Note (2).
Read Lock Bits	0010 0100	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xx B2 B1 xx	Read back current status of the lock bits (a programmed lock bit reads back as a "1")
Read Signature Bytes ⁽¹⁾	0010 1000	xxx A2 A1 A0 A1	A2 xxx xxxx	Signature Byte	Read Signature Byte
Read Program Memory (Page Mode)	0011 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	Byte 0	Byte 1... Byte 255	Read data from Program memory in the Page Mode (256 bytes)
Write Program Memory (Page Mode)	0101 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	Byte 0	Byte 1... Byte 255	Write data to Program memory in the Page Mode (256 bytes)

Notes: 1. The signature bytes are not readable in Lock Bit Modes 3 and 4.

2. B1 = 0, B2 = 0 → Mode 1, no lock protection
 B1 = 0, B2 = 1 → Mode 2, lock bit 1 activated
 B1 = 1, B2 = 0 → Mode 3, lock bit 2 activated
 B1 = 1, B2 = 1 → Mode 4, lock bit 3 activated

Each of the lock bits needs to be activated sequentially before Mode 4 can be executed.

After Reset signal is high, SCK should be low for at least 64 system clocks before it goes high to clock in the enable data bytes. No pulsing of Reset signal is necessary. SCK should be no faster than 1/16 of the system clock at XTAL1.

For Page Read/Write, the data always starts from byte 0 to 255. After the command byte and upper address byte are latched, each byte thereafter is treated as data until all 256 bytes are shifted in/out. Then the next instruction will be ready to be decoded.

Serial Programming Characteristics

Figure 9. Serial Programming Timing

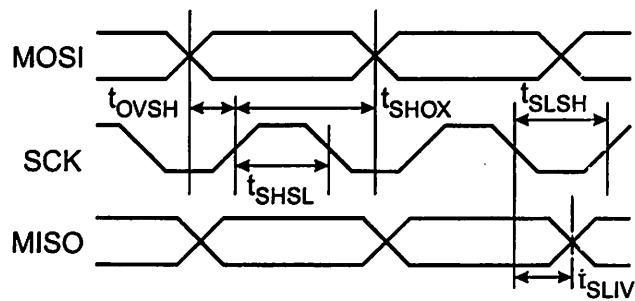


Table 9. Serial Programming Characteristics, $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 4.0 - 5.5\text{V}$ (Unless Otherwise Noted)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency	0		33	MHz
t_{CLCL}	Oscillator Period	30			ns
t_{SHSL}	SCK Pulse Width High	$8 t_{\text{CLCL}}$			ns
t_{SLSH}	SCK Pulse Width Low	$8 t_{\text{CLCL}}$			ns
t_{OVSH}	MOSI Setup to SCK High	t_{CLCL}			ns
t_{SHOX}	MOSI Hold after SCK High	$2 t_{\text{CLCL}}$			ns
t_{SLIV}	SCK Low to MISO Valid	10	16	32	ns
t_{ERASE}	Chip Erase Instruction Cycle Time			500	ms
t_{SWG}	Serial Byte Write Cycle Time			$64 t_{\text{CLCL}} + 400$	μs

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin With Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
IO Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Characteristics

Values shown in this table are valid for $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C and $V_{CC} = 4.0\text{V}$ to 5.5V , unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
	Input Low Voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	$0.2 V_{CC}-0.1$	V
IL1	Input Low Voltage (\overline{EA})		-0.5	$0.2 V_{CC}-0.3$	V
HI	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC}+0.9$	$V_{CC}+0.5$	V
HI1	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC}+0.5$	V
OL	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
OL1	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
OH	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
OH1	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RST	Reset Pulldown Resistor		50	300	K Ω
CP	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
PS	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 5.5\text{V}$		50	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA

Maximum I_{OL} per 8-bit port:

Port 0: 26 mA Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

AT89S51

Characteristics

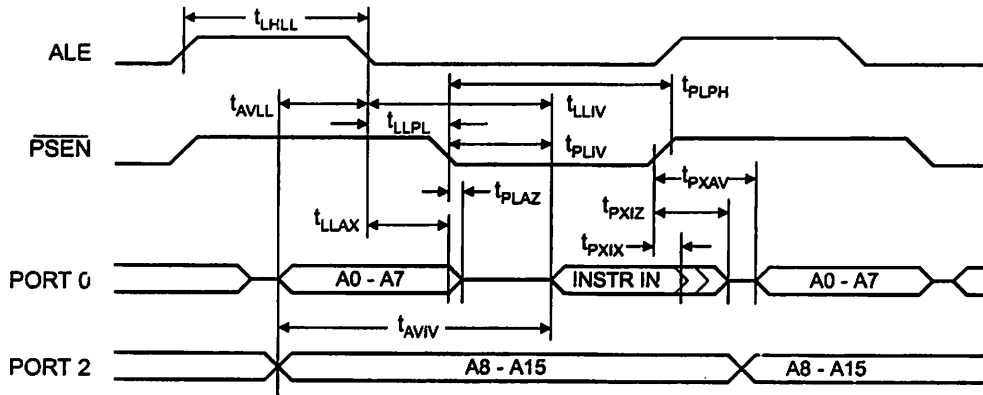
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; load capacitance for all other pins = 80 pF.

Internal Program and Data Memory Characteristics

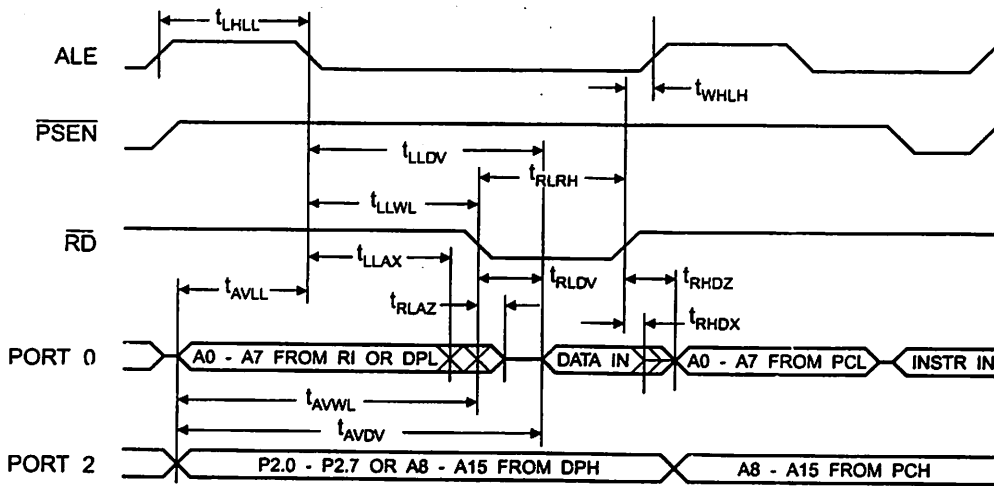
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{CLCL}	Oscillator Frequency			0	33	MHz
t_{HLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{VLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-25$		ns
t_{HAX}	Address Hold After ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-25$		ns
t_{HIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{HPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-25$		ns
t_{HPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-45$		ns
t_{HIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-60$	ns
t_{HIX}	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{HIZ}	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-25$	ns
t_{HAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{HIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-80$	ns
t_{HAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{HRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{HWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{HDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{HDX}	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{HDZ}	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{HDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{HDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{HVL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{HWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
$t_{\text{H WX}}$	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-30$		ns
t_{HWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-130$		ns
t_{HDX}	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-25$		ns
t_{HAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{HILH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-25$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns



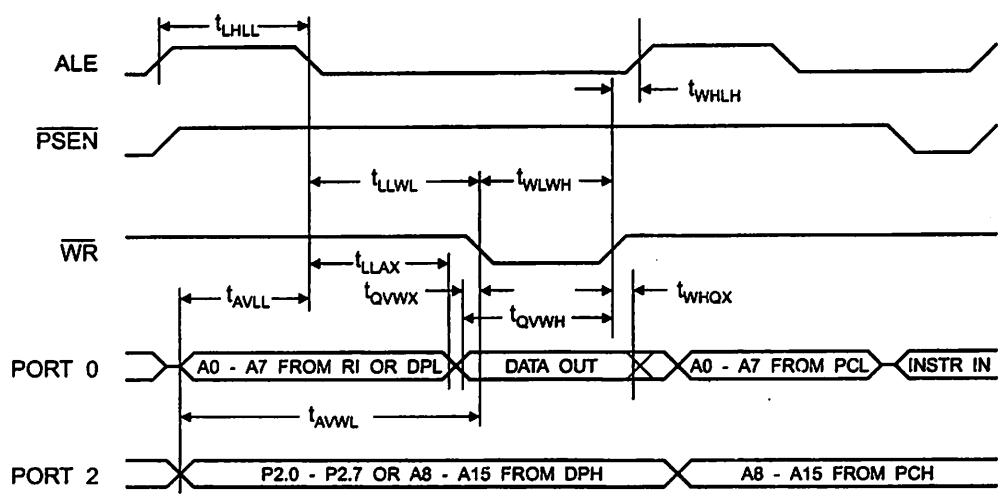
Internal Program Memory Read Cycle



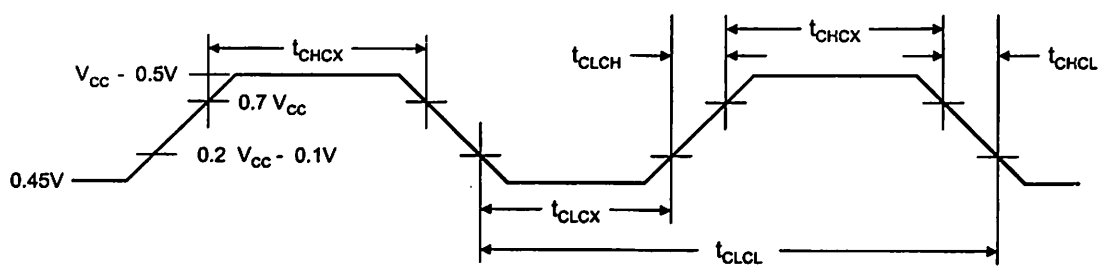
Internal Data Memory Read Cycle



Internal Data Memory Write Cycle



Internal Clock Drive Waveforms



Internal Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
CLCL	Oscillator Frequency	0	33	MHz
CL	Clock Period	30		ns
CHCX	High Time	12		ns
CLCX	Low Time	12		ns
CH	Rise Time		5	ns
CL	Fall Time		5	ns

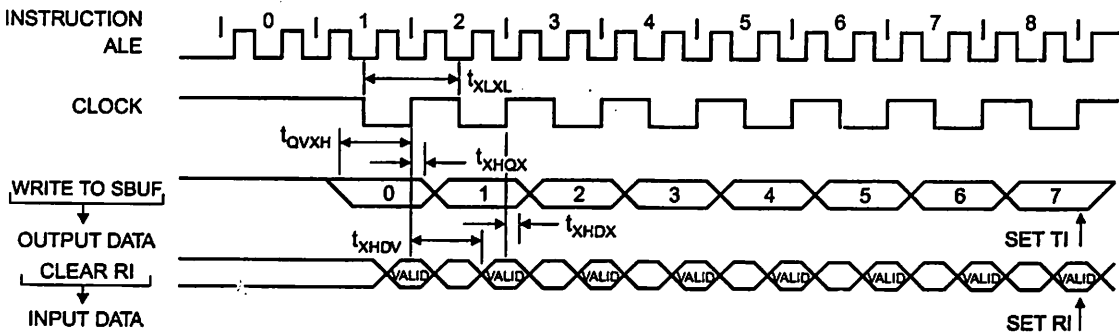


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

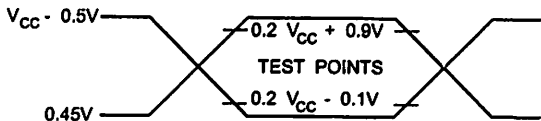
values in this table are valid for $V_{CC} = 4.0V$ to $5.5V$ and Load Capacitance = 80 pF .

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{CLK}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{XHH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-80$		ns
t_{DX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{DV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

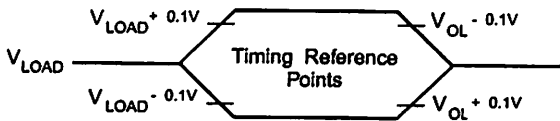


Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Load Waveforms⁽¹⁾



1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	4.0V to 5.5V	AT89S51-24AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89S51-24JC	44J	
		AT89S51-24PC	40P6	
		AT89S51-24AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89S51-24JI	44J	
		AT89S51-24PI	40P6	
33	4.5V to 5.5V	AT89S51-33AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89S51-33JC	44J	
		AT89S51-33PC	40P6	

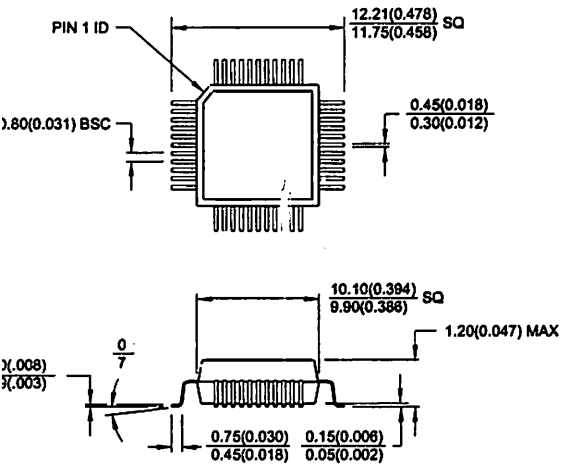
☐ = Preliminary Availability

Package Type	
	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
	40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)



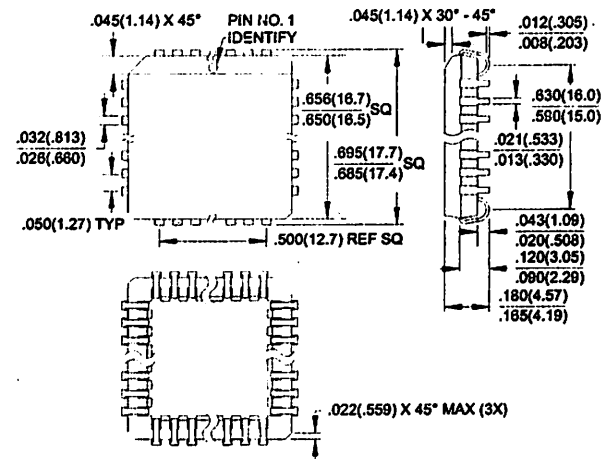
aging Information

A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*

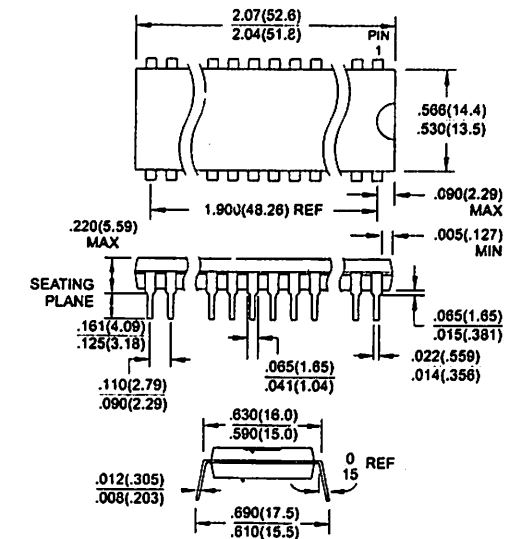


Controlling dimension: millimeters

44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



P6, 40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 DEC STANDARD MS-011 AC



AT89S51



Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
25 Orchard Parkway
Framingham, MA 01931
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Atmel SarL
Route des Arsenaux 41
Case Postale 80
CH-1705 Fribourg
Suisse
TEL (41) 26-426-5555
FAX (41) 26-426-5500

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Nanchang Golden Plaza
Mody Road Tsimhatsui
Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Atmel Japan K.K.
Tonetsu Shinkawa Bldg.
4-8 Shinkawa
Shinjuku-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Product Operations

Atmel Colorado Springs
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Grenoble
Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex, France
TEL (33) 4-7658-3000
FAX (33) 4-7658-3480

Atmel Heilbronn
Theresienstrasse 2
POB 3535
D-74025 Heilbronn, Germany
TEL (49) 71 31 67 25 94
FAX (49) 71 31 67 24 23

Atmel Nantes
La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3, France
TEL (33) 0 2 40 18 18 18
FAX (33) 0 2 40 18 19 60

Atmel Rousset
Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex, France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Atmel Smart Card ICs
Scottish Enterprise Technology Park
East Kilbride, Scotland G75 0QR
TEL (44) 1355-357-000
FAX (44) 1355-242-743

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
<http://www.atmel.com>

Atmel Corporation 2001.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors that may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted to any company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Atmel is the registered trademark of Atmel.

® is the registered trademark of Intel Corporation. Terms and product names in this document may be the trademarks of others.



Printed on recycled paper.

2487A-10/01/xM

LM741

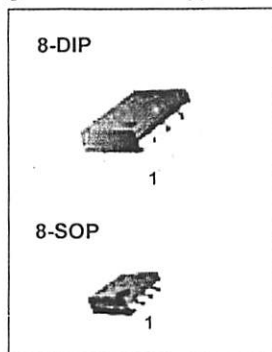
Single Operational Amplifier

Features

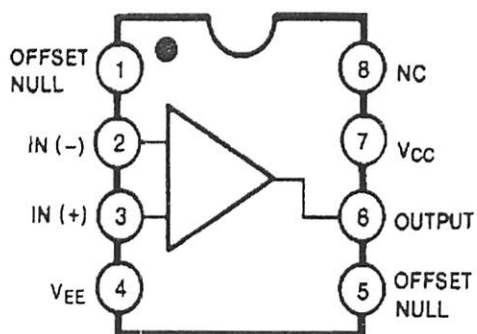
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.

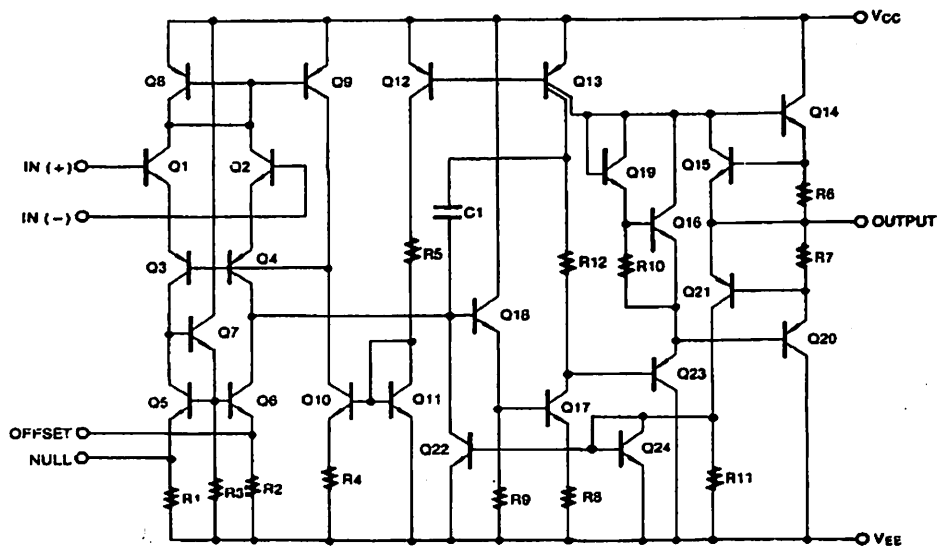


Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	±18	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage	VI	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature Range LM741C LM741I	TOPR	0 ~ + 70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ + 150	°C

Electrical Characteristics

(VCC = 15V, VEE = - 15V. TA = 25 °C, unless otherwise specified)

Parameter		Symbol	Conditions		LM741C/LM741I			Unit
					Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage		VIO	RS≤10KΩ		-	2.0	6.0	mV
			RS≤50Ω		-	-	-	
Input Offset Voltage Adjustment Range		VIO(R)	VCC = ±20V		-	±15	-	mV
Input Offset Current		IIO	-		-	20	200	nA
Input Bias Current		IBIAS	-		-	80	500	nA
Input Resistance (Note1)		RI	VCC =±20V		0.3	2.0	-	MΩ
Input Voltage Range		VI(R)	-		±12	±13	-	V
Large Signal Voltage Gain		GV	RL≥2KΩ	VCC =±20V, VO(P-P) =±15V	-	-	-	V/mV
				VCC =±15V, VO(P-P) =±10V	20	200	-	
Output Short Circuit Current		ISC	-		-	25	-	mA
Output Voltage Swing		VO(P-P)	VCC = ±20V	RL≥10KΩ	-	-	-	V
				RL≥2KΩ	-	-	-	
			VCC = ±15V	RL≥10KΩ	±12	±14	-	
				RL≥2KΩ	±10	±13	-	
Common Mode Rejection Ratio		CMRR	RS≤10KΩ, VCM = ±12V		70	90	-	dB
			RS≤50Ω, VCM = ±12V		-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio		PSRR	VCC = ±15V to VCC = ±15V RS≤50Ω		-	-	-	dB
			VCC = ±15V to VCC = ±15V RS≤10KΩ		77	96	-	
Transient Response	Rise Time	TR	Unity Gain		-	0.3	-	μs
	Overshoot	OS			-	10	-	%
Bandwidth		BW	-		-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	Unity Gain		-	0.5	-	V/μs
Supply Current		ICC	RL= ∞Ω		-	1.5	2.8	mA
Power Consumption		PC	VCC = ±20V		-	-	-	mW
			VCC = ±15V		-	50	85	

Note:
1. Guaranteed by design.

Electrical Characteristics

(0°C ≤TA≤70 °C VCC = ±15V, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of 0°C ≤ TA ≤ +70 °C for the LM741C; and the -40°C ≤ TA ≤ +85 °C for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions		LM741C/LM741I			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	VIO	RS≤50Ω		-	-	-	mV
		RS≤10KΩ		-	-	7.5	
Input Offset Voltage Drift	ΔVIO/ΔT	-		-	-	-	μV/°C
Input Offset Current	IIO	-		-	-	300	nA
Input Offset Current Drift	ΔIIO/ΔT	-		-	-	-	nA/°C
Input Bias Current	IBIAS	-		-	-	0.8	μA
Input Resistance (Note1)	RI	VCC = ±20V		-	-	-	MΩ
Input Voltage Range	VI(R)	-		±12	±13	-	V
Output Voltage Swing	VO(P-P)	VCC =±20V	RS≥10KΩ	-	-	-	V
			RS≥2KΩ	-	-	-	
		VCC =±15V	RS≥10KΩ	±12	±14	-	
			RS≥2KΩ	±10	±13	-	
Output Short Circuit Current	ISC	-		10	-	40	mA
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	RS≤10KΩ, VCM = ±12V		70	90	-	dB
		RS≤50Ω, VCM = ±12V		-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	VCC = ±20V to ±5V	RS≤50Ω	-	-	-	dB
			RS≤10KΩ	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	Gv	RS≥2KΩ	VCC = ±20V, VO(P-P) = ±15V	-	-	-	V/mV
			VCC = ±15V, VO(P,P) = ±10V	15	-	-	
			VCC = ±15V, VO(P-P) = ±2V	-	-	-	

Note :
1. Guaranteed by design.

Typical Performance Characteristics

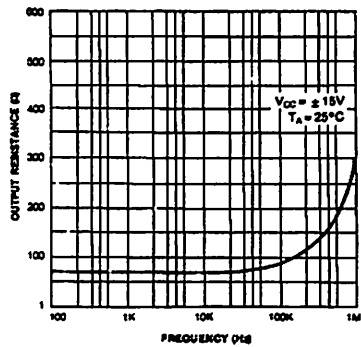


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

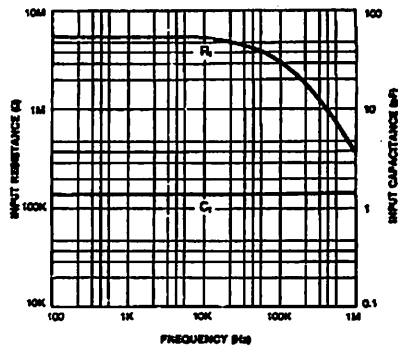


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

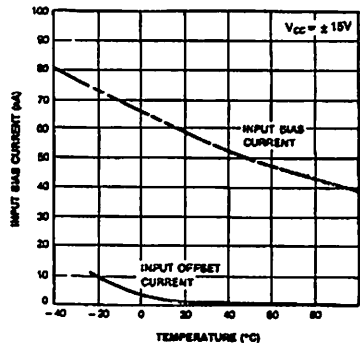


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

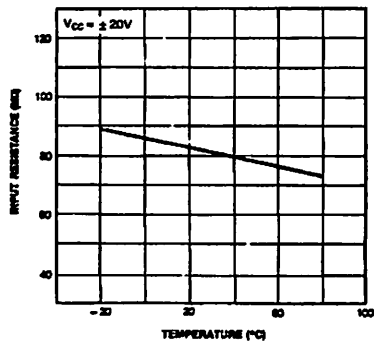


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

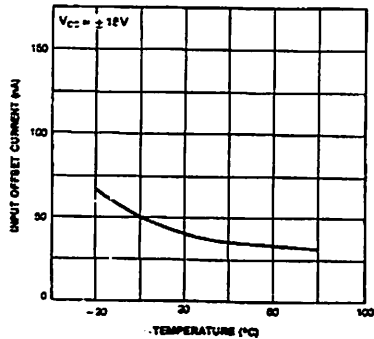


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

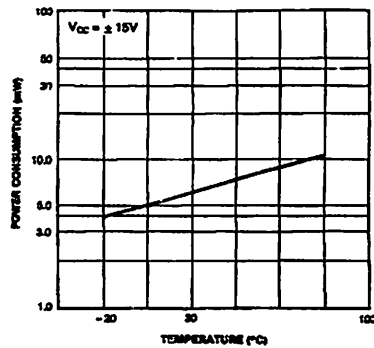


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

Typical Performance Characteristics (continued)

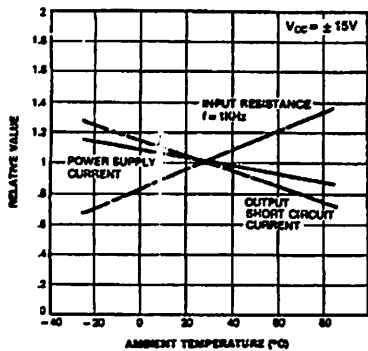


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

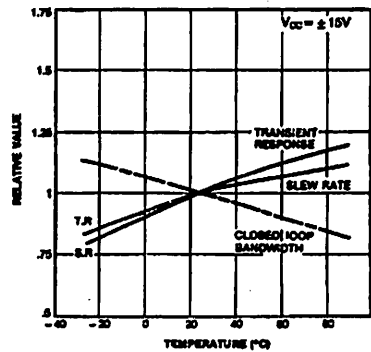


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

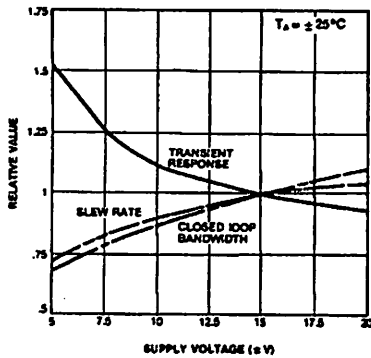


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

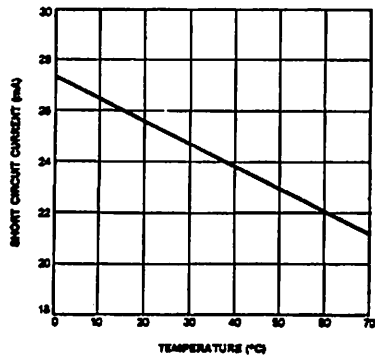


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

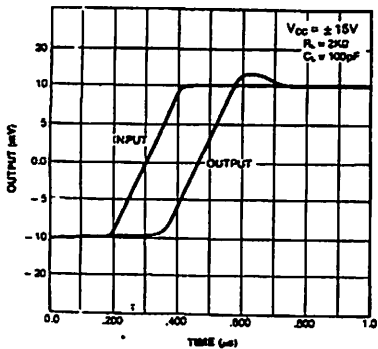


Figure 11. Transient Response

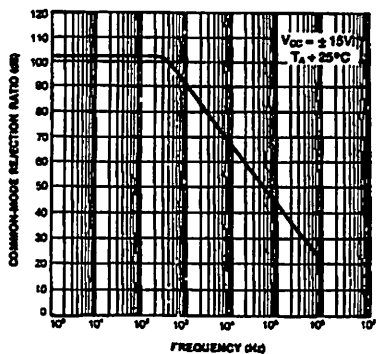


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

Typical Performance Characteristics (continued)

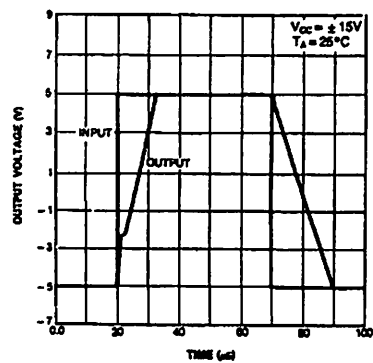


Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

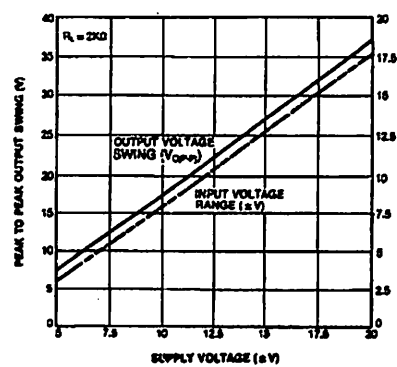
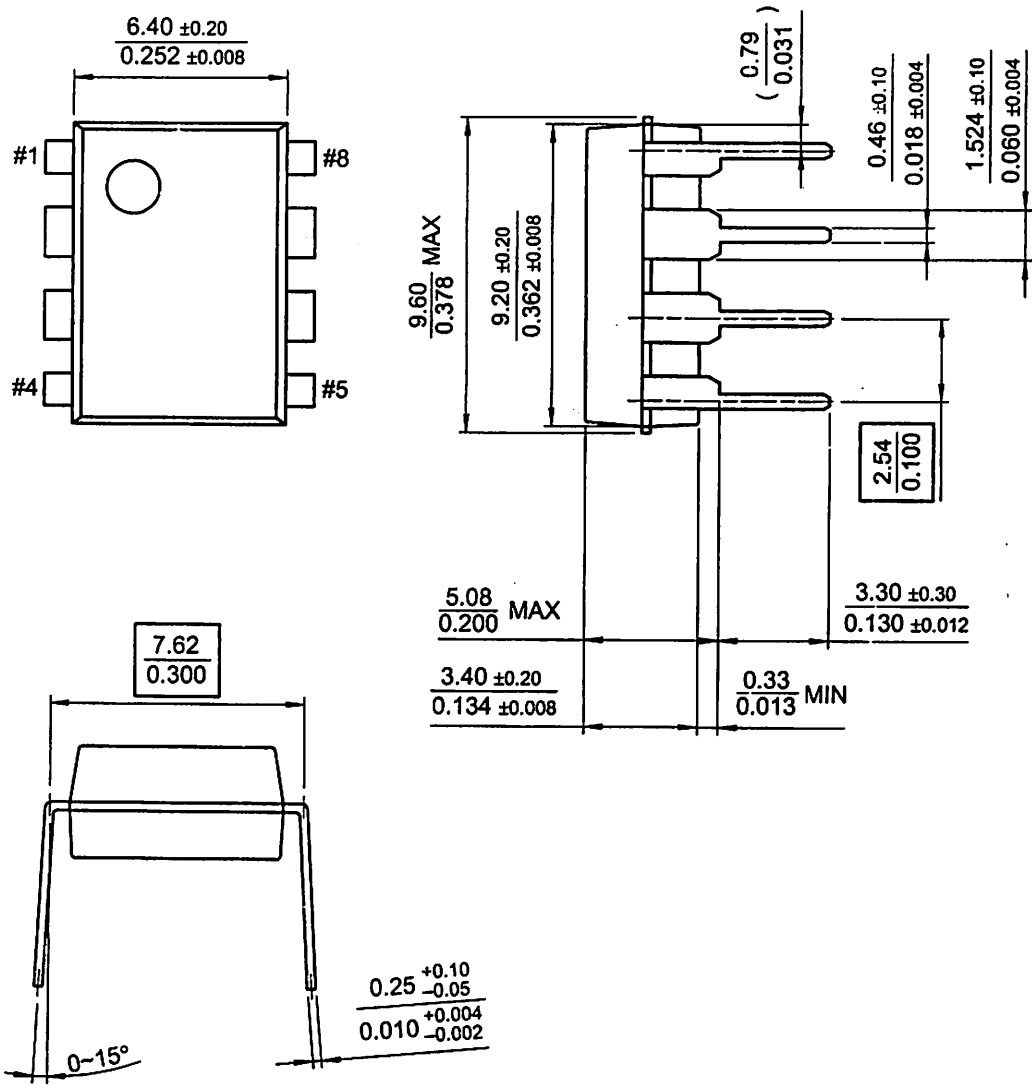


Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

Mechanical Dimensions

Package

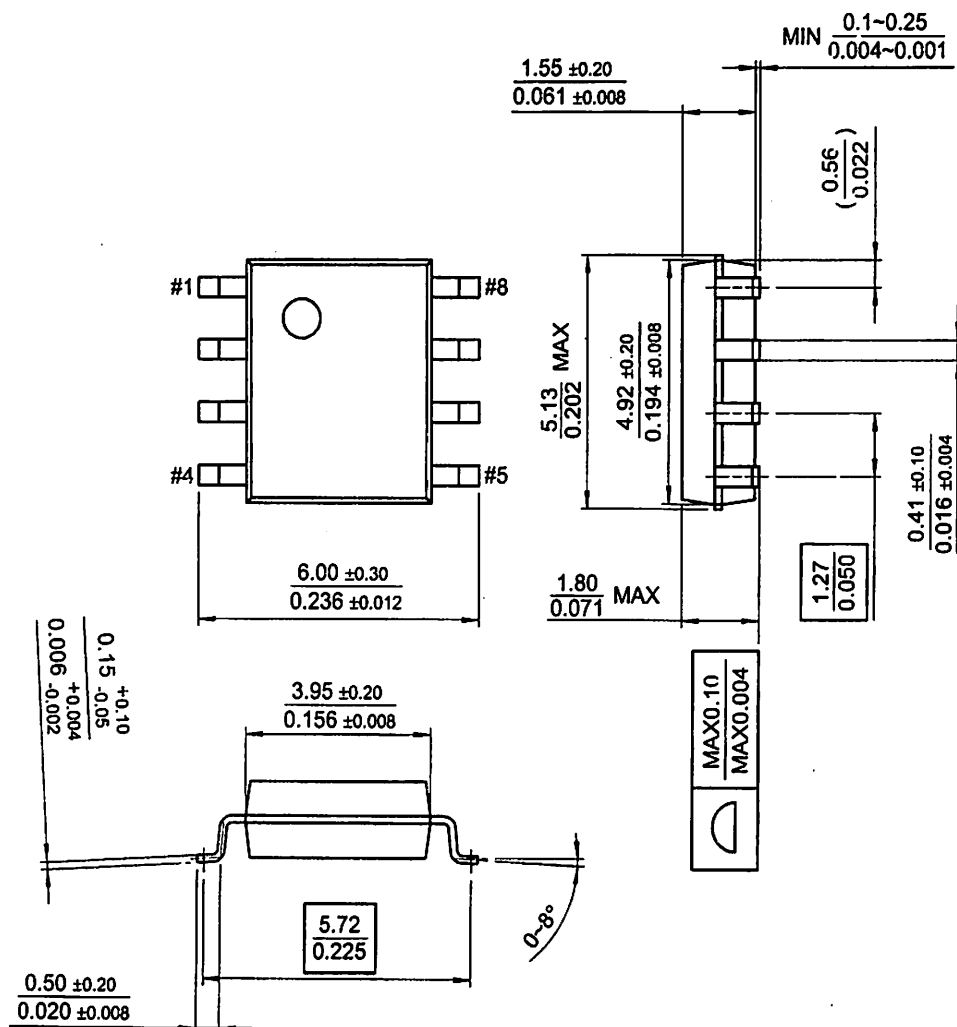
8-DIP



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM741CN	8-DIP	0 ~ + 70°C
LM741CM	8-SOP	
LM741IN	8-DIP	-40 ~ + 85°C

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1.

Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2.

A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector	P_D	120	mW
Derate above 25°C		1.41	mW/ $^{\circ}\text{C}$

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ with Negligible Power in Input LED	P_D	150	mW
Derate above 25°C		1.76	mW/ $^{\circ}\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/ $^{\circ}\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-55 to +100	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	260	$^{\circ}\text{C}$

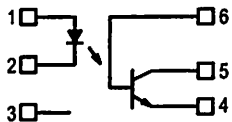
- Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating.
- For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

4N25
4N26
4N27
4N28



STANDARD THRU HOLE

SCHEMATIC



- PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ ⁽¹⁾	Max	Unit
INPUT LED					
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	V_F	— — —	1.15 1.3 1.05	1.5 — —	Volts
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)	C_J	—	18	—	pF
OUTPUT TRANSISTOR					
Collector–Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$) $4\text{N}25,26,27$ $4\text{N}28$	I_{CEO}	— —	1 1	50 100	nA
($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 100^\circ\text{C}$) All Devices	I_{CEO}	—	1	—	μA
Collector–Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)	I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)	$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector–Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter–Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$)	h_{FE}	—	500	—	—
Collector–Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CE} = 0$)	C_{CE}	—	7	—	pF
Collector–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$)	C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{EB} = 0$)	C_{EB}	—	9	—	pF
COUPLED					
Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$) $4\text{N}25,26$ $4\text{N}27,28$	$I_C\text{ (CTR)}^{(2)}$	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	— —	mA (%)
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn–On Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn–Off Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$) ⁽⁴⁾	V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$) ⁽¹⁾	R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$) ⁽⁴⁾	C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F \times 100\%$.
3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.
4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

TYPICAL CHARACTERISTICS

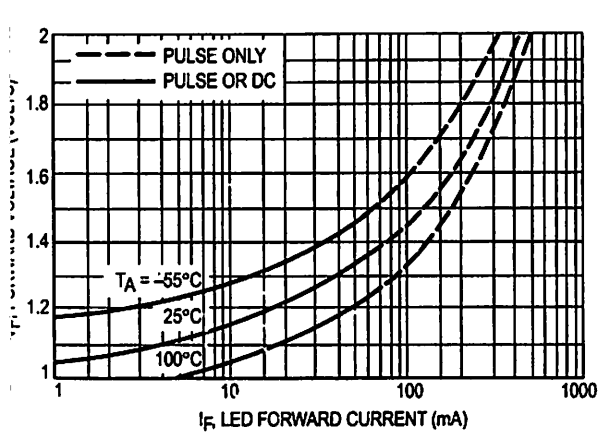


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

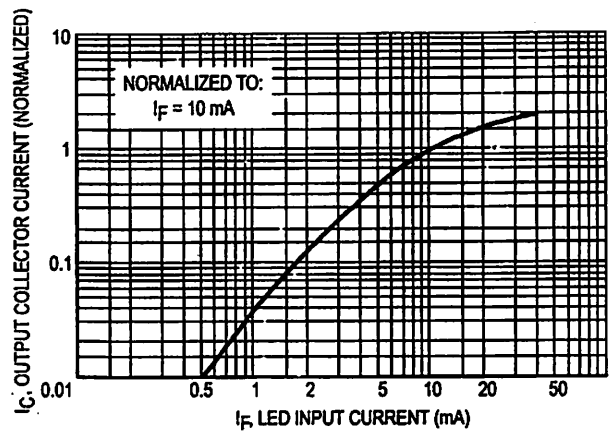


Figure 2. Output Current versus Input Current

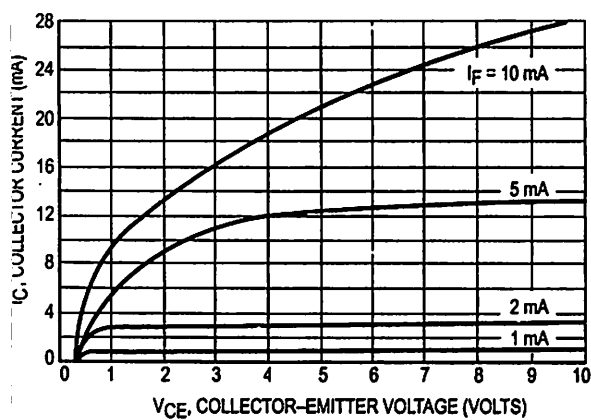


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

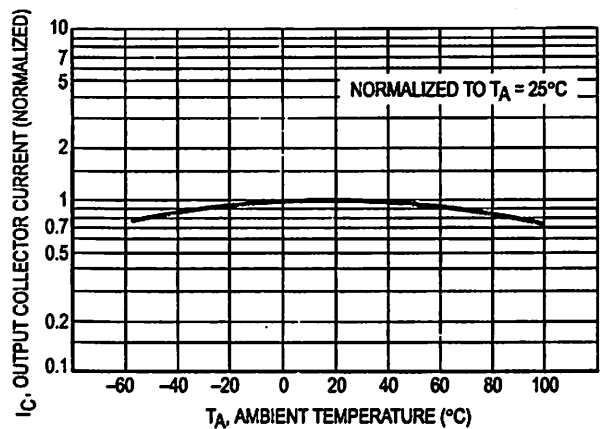


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

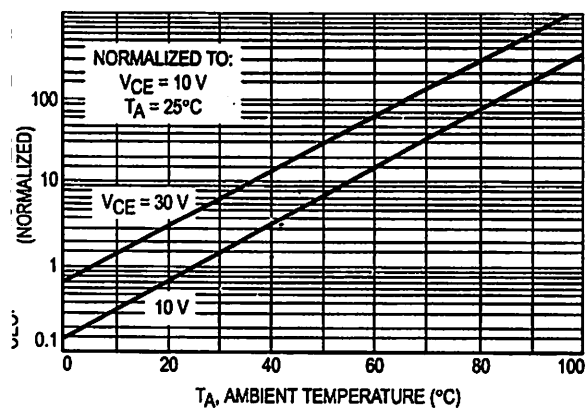


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

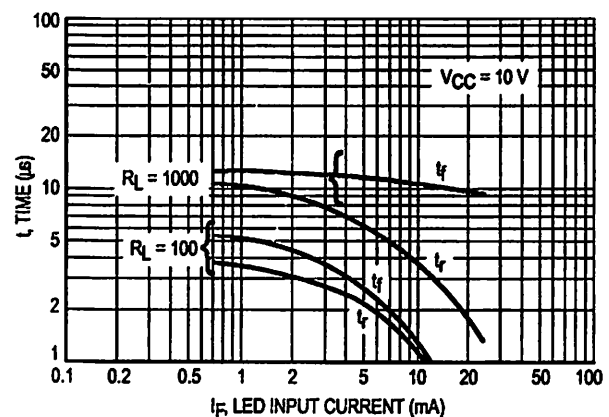


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

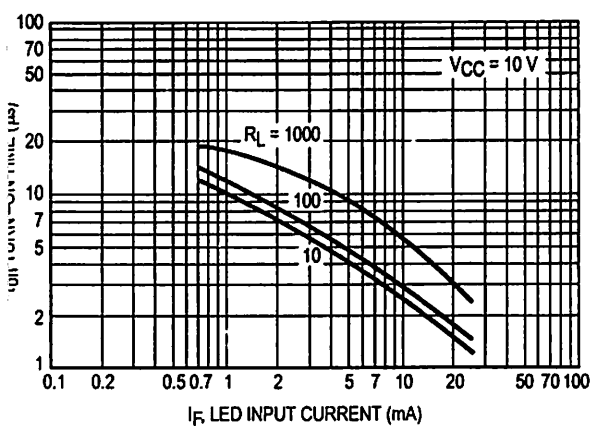


Figure 7. Turn-On Switching Times
(Typical Values)

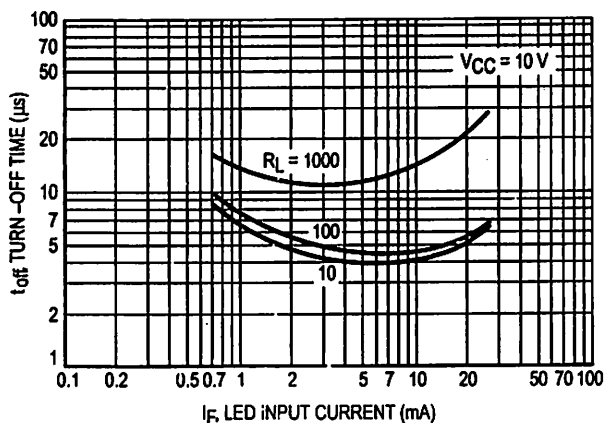


Figure 8. Turn-Off Switching Times
(Typical Values)

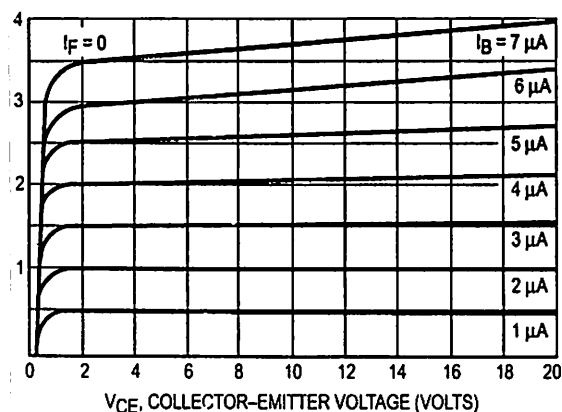


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

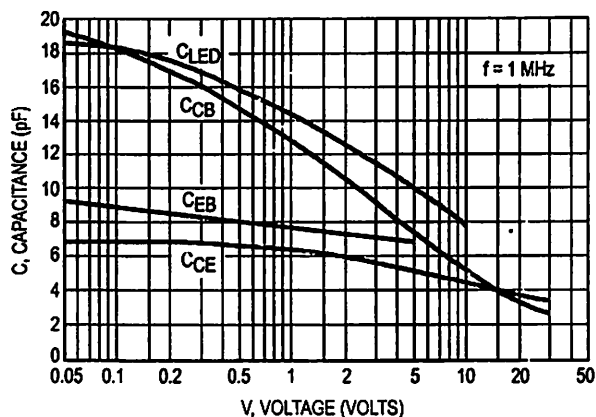
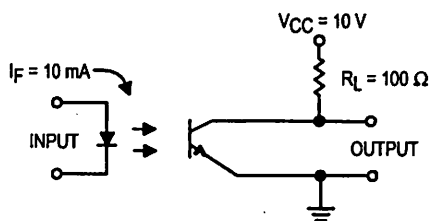


Figure 10. Capacitances versus Voltage

TEST CIRCUIT



WAVEFORMS

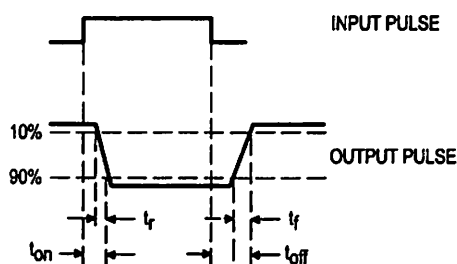
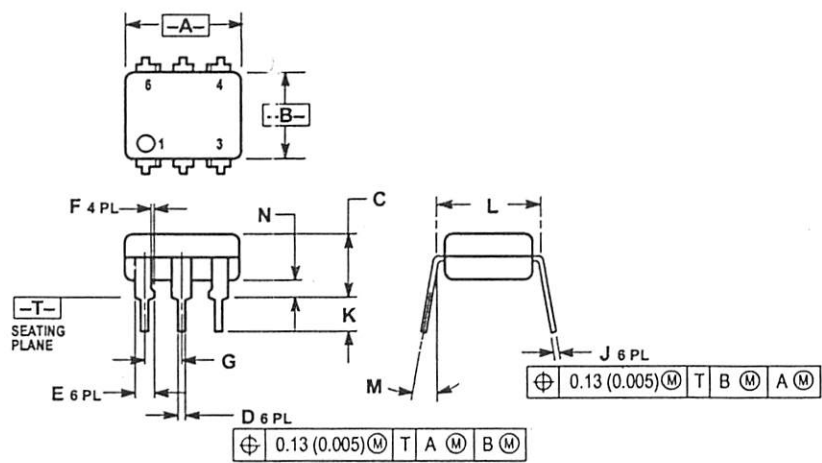


Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

PACKAGE DIMENSIONS

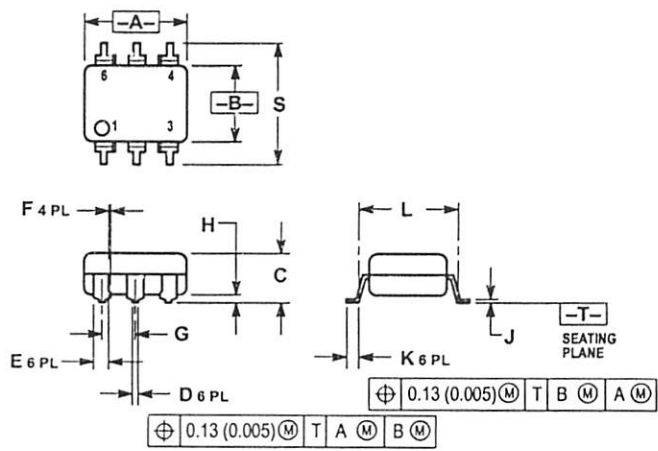


NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.015	0.100	0.38	2.54

STYLE 1:
PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

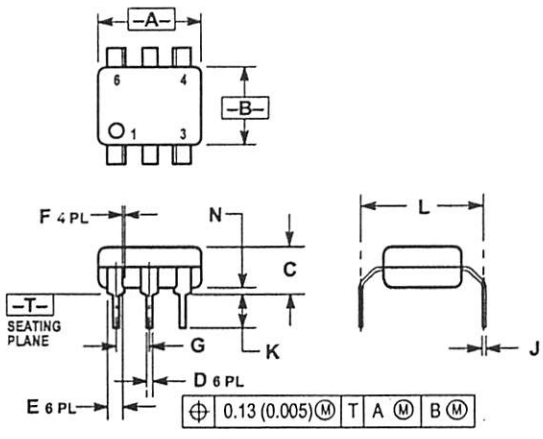
THRU HOLE



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.020	0.025	0.51	0.63
J	0.008	0.012	0.20	0.30
K	0.006	0.035	0.16	0.88
L	0.320 BSC		8.13 BSC	
S	0.332	0.390	8.43	9.91*

SURFACE MOUNT



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

0.4" LEAD SPACING

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY OF ITS PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.

2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

2N3903, 2N3904

2N3903 is a Preferred Device

General Purpose Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	200	mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^{\circ}\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^{\circ}\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/ $^{\circ}\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^{\circ}\text{C}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

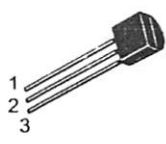
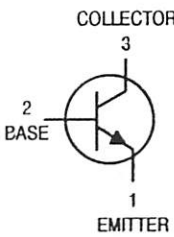
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^{\circ}\text{C/W}$

* Indicates Data in addition to JEDEC Requirements



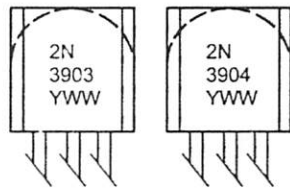
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



TO-92
CASE 29
STYLE 1

MARKING DIAGRAMS



Y = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

See ordering options and ordering information in the package information section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM7.

2N3903, 2N3904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage (Note 2) (I _C = 1.0 mA _{dc} , I _B = 0)	V _{(BR)CEO}	40	—	V _{dc}
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μA _{dc} , I _E = 0)	V _{(BR)CBO}	60	—	V _{dc}
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μA _{dc} , I _C = 0)	V _{(BR)EBO}	6.0	—	V _{dc}
Base Cutoff Current (V _{CE} = 30 V _{dc} , V _{EB} = 3.0 V _{dc})	I _{BL}	—	50	nA _{dc}
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 30 V _{dc} , V _{EB} = 3.0 V _{dc})	I _{CEX}	—	50	nA _{dc}

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain (Note 2)		h _{FE}			—
(I _C = 0.1 mA _{dc} , V _{CE} = 1.0 V _{dc})	2N3903	20	—		
	2N3904	40	—		
(I _C = 1.0 mA _{dc} , V _{CE} = 1.0 V _{dc})	2N3903	35	—		
	2N3904	70	—		
(I _C = 10 mA _{dc} , V _{CE} = 1.0 V _{dc})	2N3903	50	150		
	2N3904	100	300		
(I _C = 50 mA _{dc} , V _{CE} = 1.0 V _{dc})	2N3903	30	—		
	2N3904	60	—		
(I _C = 100 mA _{dc} , V _{CE} = 1.0 V _{dc})	2N3903	15	—		
	2N3904	30	—		
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2)		V _{CE(sat)}			V _{dc}
(I _C = 10 mA _{dc} , I _B = 1.0 mA _{dc})		—	0.2		
(I _C = 50 mA _{dc} , I _B = 5.0 mA _{dc})		—	0.3		
Base-Emitter Saturation Voltage (Note 2)		V _{BE(sat)}			V _{dc}
(I _C = 10 mA _{dc} , I _B = 1.0 mA _{dc})		0.65	0.85		
(I _C = 50 mA _{dc} , I _B = 5.0 mA _{dc})		—	0.95		

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain-Bandwidth Product		f _T			MHz
(I _C = 10 mA _{dc} , V _{CE} = 20 V _{dc} , f = 100 MHz)	2N3903	250	—		
	2N3904	300	—		
Output Capacitance (V _{CB} = 5.0 V _{dc} , I _E = 0, f = 1.0 MHz)		C _{obo}	—	4.0	pF
Input Capacitance (V _{EB} = 0.5 V _{dc} , I _C = 0, f = 1.0 MHz)		C _{ibo}	—	8.0	pF
Input Impedance		h _{ie}			k Ω
(I _C = 1.0 mA _{dc} , V _{CE} = 10 V _{dc} , f = 1.0 kHz)	2N3903	1.0	8.0		
	2N3904	1.0	10		
Voltage Feedback Ratio		h _{re}			X 10 ⁻⁴
(I _C = 1.0 mA _{dc} , V _{CE} = 10 V _{dc} , f = 1.0 kHz)	2N3903	0.1	5.0		
	2N3904	0.5	8.0		
Small-Signal Current Gain		h _{fb}			—
(I _C = 1.0 mA _{dc} , V _{CE} = 10 V _{dc} , f = 1.0 kHz)	2N3903	50	200		
	2N3904	100	400		
Output Admittance (I _C = 1.0 mA _{dc} , V _{CE} = 10 V _{dc} , f = 1.0 kHz)		h _{os}	1.0	40	μmhos
Noise Figure		NF			dB
(I _C = 100 μA _{dc} , V _{CE} = 5.0 V _{dc} , R _S = 1.0 k Ω, f = 1.0 kHz)	2N3903	—	6.0		
	2N3904	—	5.0		

SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	(V _{CC} = 3.0 V _{dc} , V _{BE} = 0.5 V _{dc} , I _C = 10 mA _{dc} , I _{B1} = 1.0 mA _{dc})	t _d	—	35	ns
Rise Time		t _r	—	35	ns
Storage Time	(V _{CC} = 3.0 V _{dc} , I _C = 10 mA _{dc} , I _{B1} = I _{B2} = 1.0 mA _{dc})	t _s	—	175	ns
Fall Time		t _f	—	50	ns

2. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs; Duty Cycle ≤ 2%.

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
2N3903	TO-92	5,000 Units / Box
2N3903RLRM	TO-92	2,000 / Ammo Pack
2N3904	TO-92	5,000 Units / Box
2N3904G	TO-92 (Pb-Free)	5,000 Units / Box
2N3904RLRA	TO-92	2,000 / Tape & Reel
2N3904RLRAG	TO-92 (Pb-Free)	2,000 / Tape & Reel
2N3904RLRE	TO-92	2,000 / Tape & Reel
2N3904RLRM	TO-92	2,000 / Ammo Pack
2N3904RLRMG	TO-92 (Pb-Free)	2,000 / Ammo Pack
2N3904RLRP	TO-92	2,000 / Ammo Pack
2N3904RLRPG	TO-92 (Pb-Free)	2,000 / Ammo Pack
2N3904RL1	TO-92	2,000 / Tape & Reel
2N3904ZL1	TO-92	2,000 / Ammo Pack

For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

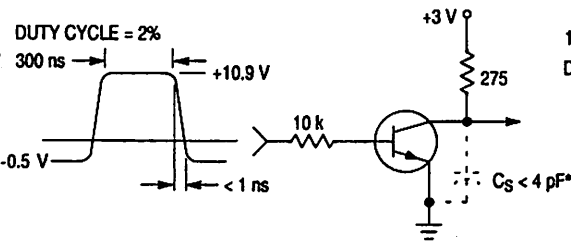


Figure 1. Delay and Rise Time
Equivalent Test Circuit

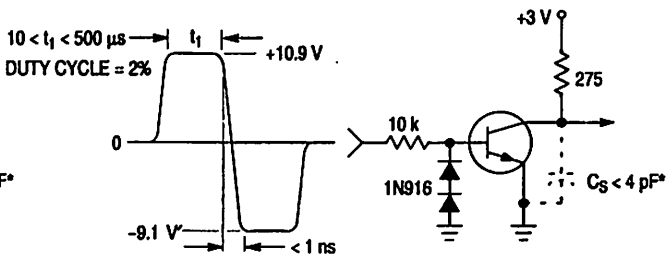


Figure 2. Storage and Fall Time
Equivalent Test Circuit

* Total shunt capacitance of test jig and connectors

TYPICAL TRANSIENT CHARACTERISTICS

— $T_J = 25^\circ\text{C}$
- - $T_J = 125^\circ\text{C}$

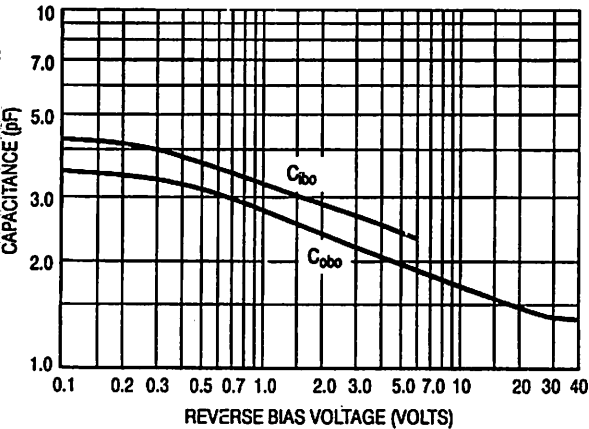


Figure 3. Capacitance

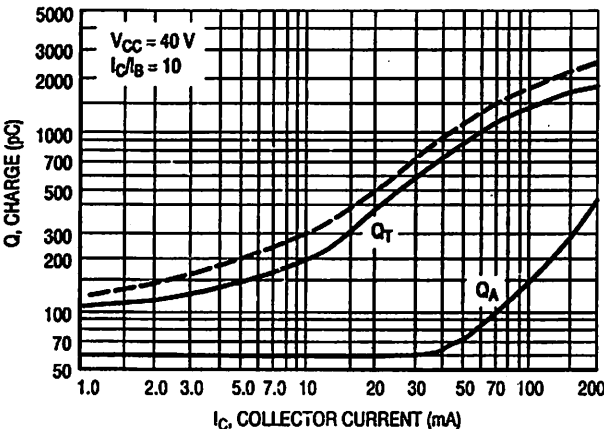


Figure 4. Charge Data

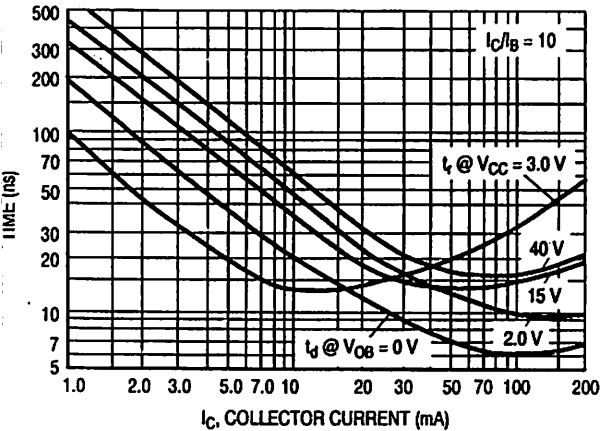


Figure 5. Turn-On Time

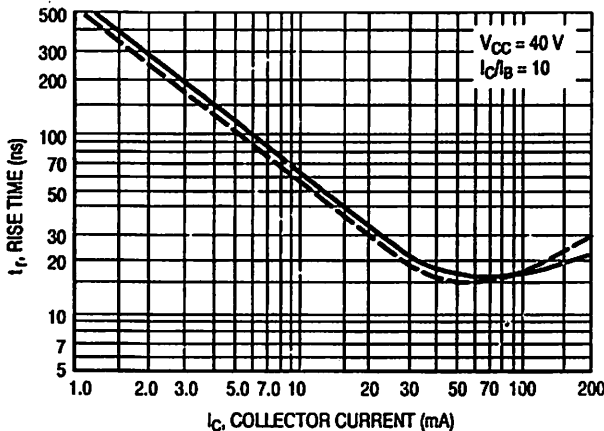


Figure 6. Rise Time

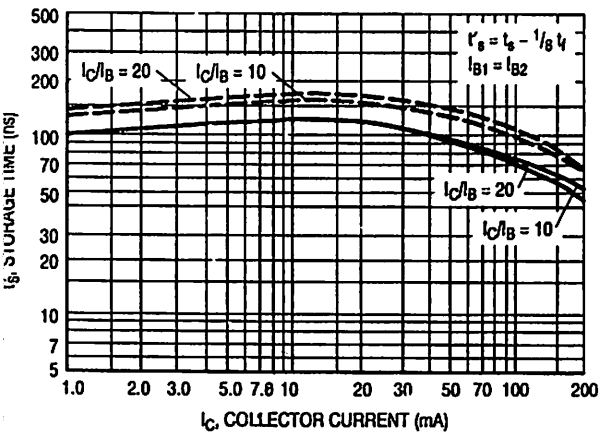


Figure 7. Storage Time

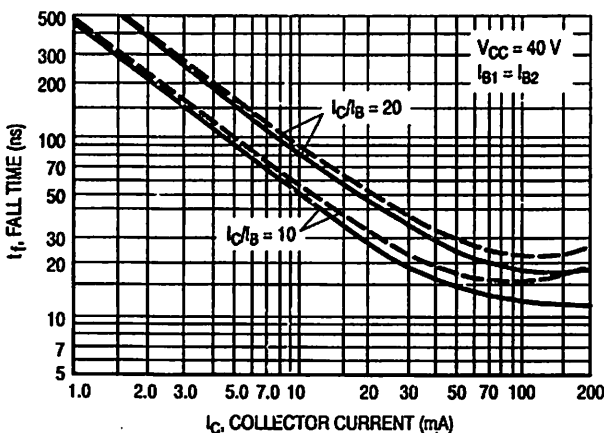


Figure 8. Fall Time

TYPICAL AUDIO SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS
NOISE FIGURE VARIATIONS

($V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, Bandwidth = 1.0 Hz)

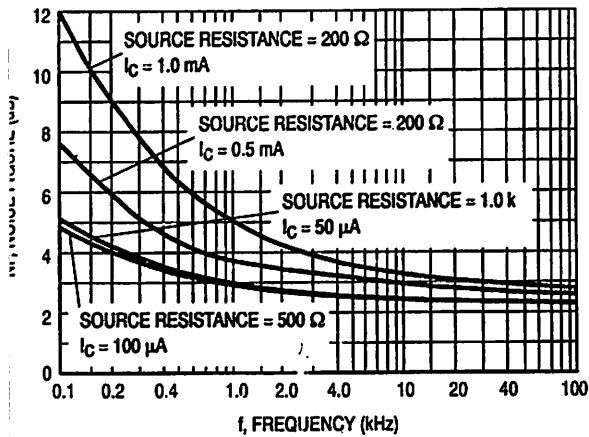


Figure 9.

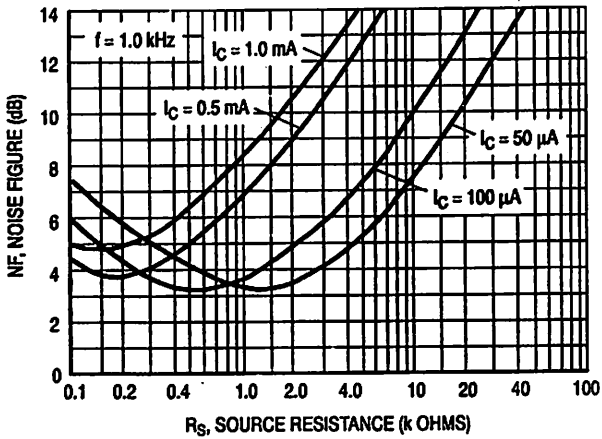


Figure 10.

h PARAMETERS

($V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

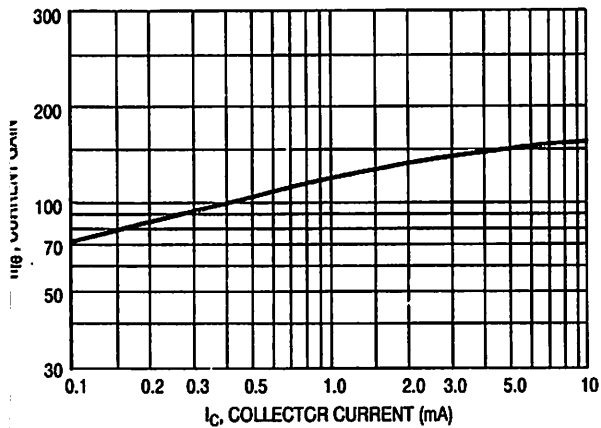


Figure 11. Current Gain

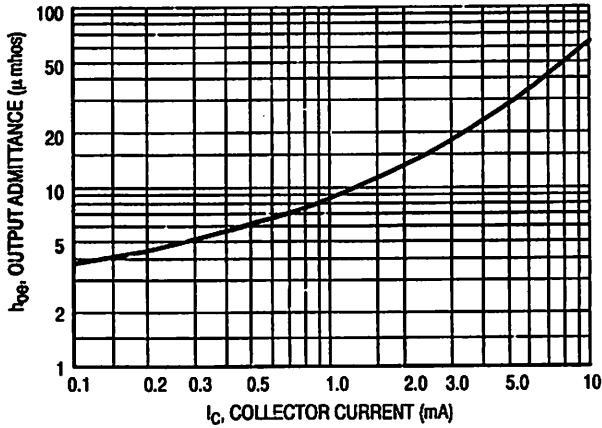


Figure 12. Output Admittance

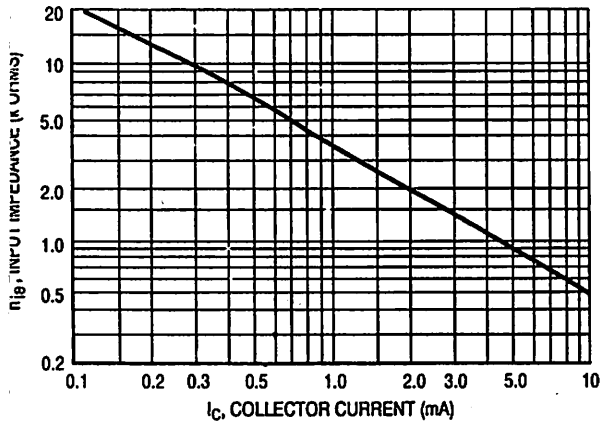


Figure 13. Input Impedance

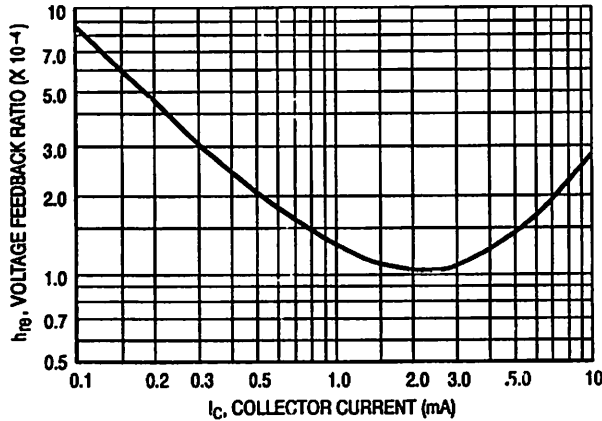


Figure 14. Voltage Feedback Ratio



TYPICAL STATIC CHARACTERISTICS

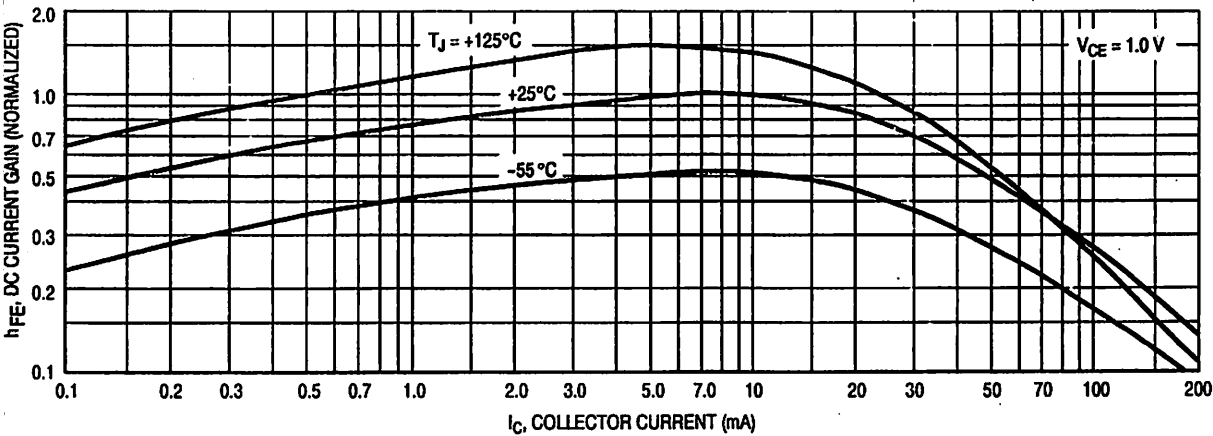


Figure 15. DC Current Gain

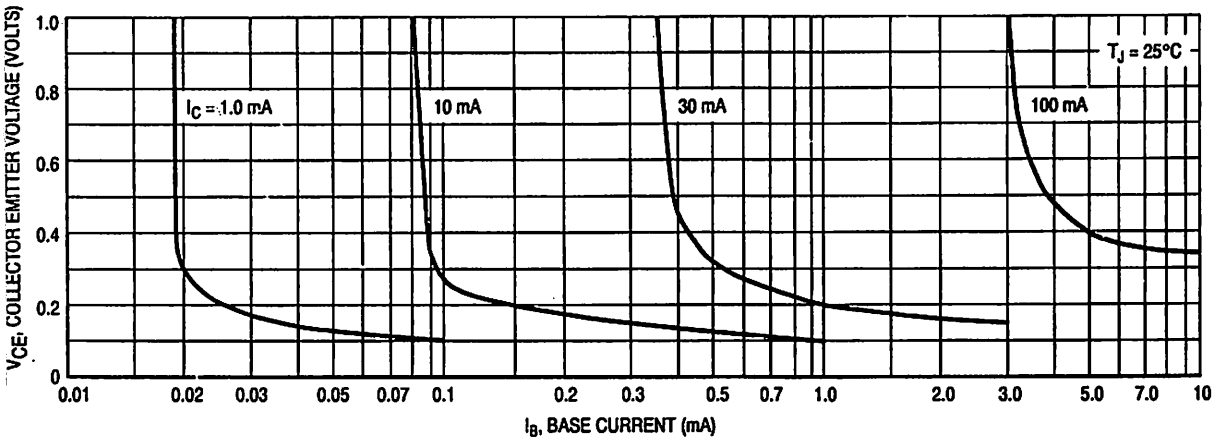


Figure 16. Collector Saturation Region

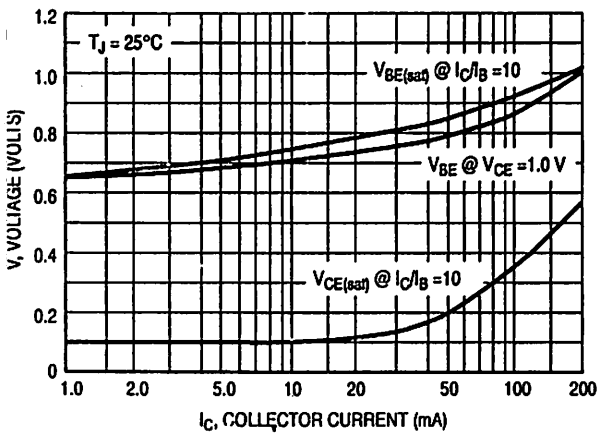


Figure 17. "ON" Voltages

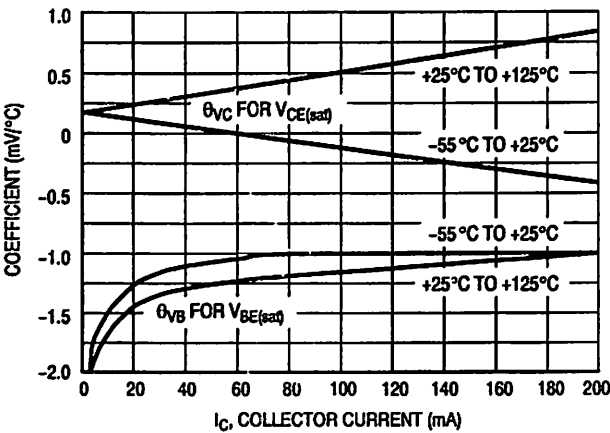
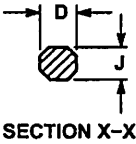
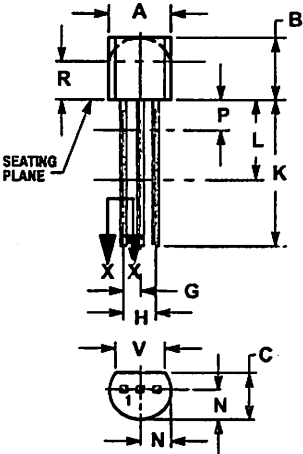


Figure 18. Temperature Coefficients

PACKAGE DIMENSIONS


TO-92
TO-226AA
CASE 29-11
ISSUE AL



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	SUN	MAX	MDN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.018	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.68
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

- STYLE 1:
- PIN 1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR
- STYLE 1A:
- PIN 1. EMITTER
2. COLLECTOR
3. BASE

ON Semiconductor and  are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 61312, Phoenix, Arizona 85062-1312 USA
Phone: 480-829-7710 or 800-344-3880 Toll Free USA/Canada
Fax: 480-829-7708 or 800-344-3887 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

Order Literature: <http://www.onsemi.com/litorder>

For additional information, please contact your
local Sales Representative.